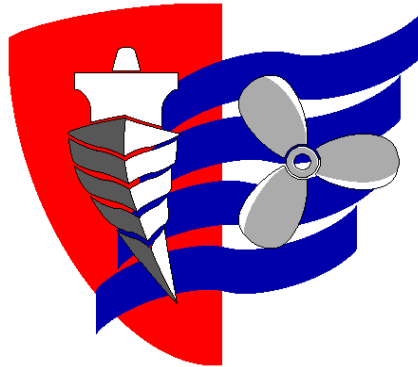


ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



*Trabajo Fin de Grado*

**MANUAL PARA LA CARGA,  
TRANSPORTE Y DESCARGA DE GAS  
NATURAL LICUADO**

---

**MANUAL FOR THE LOADING,  
TRANSPORTING AND DISCHARGING OF  
LIQUEFIED NATURAL GAS**

Para acceder al Título de Grado en

**INGENIERÍA NÁUTICA Y TRANSPORTE  
MARÍTIMO**

Autor: Paula García González

Director: Francisco J. Correa Ruiz

Junio - 2019

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

*Trabajo Fin de Grado*

**MANUAL PARA LA CARGA,  
TRANSPORTE Y DESCARGA DE GAS  
NATURAL LICUADO**

---

**MANUAL FOR THE LOADING,  
TRANSPORTING AND DISCHARGING OF  
LIQUEFIED NATURAL GAS**

Para acceder al Título de Grado en

**INGENIERÍA NÁUTICA Y TRANSPORTE  
MARÍTIMO**

## ÍNDICE

I.	RESUMEN	5
II.	ABSTRACT	6
III.	PALABRAS CLAVE	6
IV.	KEYWORDS	6
V.	LISTA DE ILUSTRACIONES	7
VI.	LISTA DE TABLAS	10
1.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
2.	METODOLOGÍA	12
3.	INTRODUCCIÓN	12
4.	GAS NATURAL	14
4.1	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS COMPONENTES DEL GAS NATURAL	15
4.2	PRINCIPALES USOS DEL GAS NATURAL	17
4.3	PRODUCCIÓN DEL GAS NATURAL SEGÚN EL PAIS DE ORIGEN	17
4.4	TRÁFICO DE GNL	18
4.5	PROPIEDADES DEL METANO	19
5.	OTROS GASES INTERVIENIENTES EN LA CARGA: GASES INERTES.	20
5.1	NITRÓGENO	20
5.2	GAS INERTE	20
6.	NOMBRAMIENTO DE LINEAS	21
6.1	DOMO DE LÍQUIDO	23
6.2	DOMO DE VAPOR	25
6.3	PARTICULARIDADES EN LAS LÍNEAS	27
7.	MAQUINARIA NECESARIA PARA LOS PROCESOS DE CARGA, TRANSPORTE Y DESCARGA	28
7.1	BOMBAS	28
A.	BOMBA DE CARGA	28
B.	BOMBA DE ACHIQUE	30

C. BOMBA DE EMERGENCIA	32
7.2 COMPRESORES HIGH DUTY Y LOW DUTY	34
• SISTEMA DE GAS DE SELLADO	34
• SISTEMA DE ACEITE LUBRICANTE	35
• SISTEMA DE CONTROL DE SOBREPRESIONES	36
• GUÍA DE ENTRADA DE PALETAS	36
A. COMPRESOR HIGH DUTY	36
B. COMPRESOR LOW DUTY	38
7.3 CALENTADOR	40
7.4 VAPORIZADOR FORZADO Y DE GNL	41
A. VAPORIZADOR DE GNL	42
B. VAPORIZADOR FORZADO	45
8. CARGA	48
8.1 ANTES DE LA LLEGADA A PUERTO	48
A. ENFRIAMIENTO DE TANQUES	48
B. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA ROCIADOR DE AGUA	50
C. ALARMA DE LLENADO DE LOS TANQUES	51
D. FUNCIONAMIENTO DE ALARMA ESD	51
E. APERTURA Y CIERRE DE TODAS LAS VALVULAS QUE OPERARÁN DURANTE LAS OPERACIONES DE CARGA	52
8.2 EN PUERTO	52
A. ATRAQUE	52
B. PREPARACIONES PARA LA CARGA	53
C. PRUEBA DE PRESIÓN CON NITRÓGENO EN LAS LÍNEAS	55
D. CTMS: SISTEMA DE TRANSFERENCIA DE CUSTODIA	57
E. RETORNO DE VAPOR A TIERRA	58
F. ESD CON LÍNEAS CALIENTES	59
G. ENFRIAMIENTO DE LAS LÍNEAS	59
H. ESD CON LÍNEAS FRÍAS	61
I. CARGAR ENVIANDO VAPOR A LA TERMINAL POR MEDIO DE LOS COMPRESORES HD	61

J. DESLASTRE	63
K. CIERRE DEL CTMS	67
L. PURGADO Y DESCONEXIÓN DE LOS BRAZOS DE LÍQUIDO Y VAPOR	67
M. POST-MEETING CON LA TERMINAL	68
N. DESATRAQUE	68
9. VIAJE DE CARGA	69
9.1 CON QUEMADO DE GAS EN LAS CALDERAS	69
9.2 USANDO EL VAPORIZADOR FORZADO	74
10. DESCARGA	77
10.1 ANTES DE LA LLEGADA A PUERTO	78
A. ENFRIAMIENTO DE LÍNEAS	78
B. PRUEBAS ANTES DE LA LLEGADA	80
10.2 EN PUERTO	81
A. ATRAQUE	81
B. PREPARACIONES PARA LA DESCARGA	81
C. PRUEBA DE PRESIÓN CON NITRÓGENO EN LAS LÍNEAS	83
D. APERTURA DEL CTMS	83
E. COMIENZO DE RECIBIR VAPOR DE LA TERMINAL	83
F. ESD CON LÍNEAS CALIENTES	83
G. REENFRIAMIENTO DE LÍNEAS	84
H. ESD CON LÍNEAS FRÍAS	84
I. DESCARGA CON RETORNO DE GAS PROCEDENTE DE LA TERMINAL	85
J. DESCARGA USANDO EL VAPORIZADOR DE GNL	88
K. LASTRE	90
L. CIERRE DEL CTMS	93
M. PURGADO Y DESCONEXIÓN DE BRAZOS DE LÍQUIDO Y VAPOR	93
N. POST-MEETING CON LA TERMINAL	93
O. DESATRAQUE	94

11. COMPATIBILIDAD DE LA TERMINAL Y EL BARCO	94
11.1 PARTICULARIDADES DEL BARCO Y LA TERMINAL	94
11.2 GENERALIDADES DE AMARRE	94
11.3 MANIFOLD Y BRAZOS DE LA TERMINAL	95
11.4 ESCALA ENTRE TERMINAL Y BARCO	95
11.5 CONEXIÓN ENTRE EL BARCO Y LA TERMINAL	95
12. COMUNICACIONES BARCO Y TERMINAL	95
12.1 ANTES DE LA TRANSFERENCIA DE CARGA	96
13. SITUACIONES DE PELIGRO	99
13.1 EQUIPO CONTRAINCENDIOS	99
A. POLVO SECO	99
B. SISTEMA DE ESPUMA	99
C. CO2	100
D. MANGUERAS Y SISTEMA ROCIADOR DE AGUA	100
13.2 DETECCIÓN DE FUGAS EN LAS MEMBRANAS	100
A. FUGAS DE VAPOR	101
B. FUGAS DE GNL	102
C. FUGAS DE AGUA DE LASTRE	104
13.3 INCENDIOS EN OPERACIONES	105
13.4 INSTALACIÓN DE BOMBA DE EMERGENCIA	106
13.5 DESECHO DE CARGA. JETTYSONING	107
13.6 CHAPOTEO. SLOOSHING	108
13.7 SISTEMA DE ESD: SISTEMA DE CERRADO COMPLETO DE EMERGENCIA	108
14. CONCLUSIONES	110
BIBLIOGRAFIA	111
ANEXO II: AVISO RESPONSABILIDAD UC	113

## **I. RESUMEN**

El gas natural, extraído de yacimientos asociados o no con el petróleo crudo, tiene como principal constituyente el metano. Se usa primordialmente como fuente de energía para la industria pesada, para obtener calefacción y, cada vez más, para el combustible de los transportes. Su volumen en estado líquido es unas 600 veces menor que su volumen en estado gaseoso, por ello su transporte por mar se realiza en estado líquido a una temperatura de  $-160^{\circ}\text{C}$ , temperatura a la que pasa a estado líquido a presión atmosférica.

Los barcos que lo transportan están contruidos para su buen mantenimiento con el fin de evitar los mayores peligros que puedan existir. Estos barcos cuentan con grandes medidas de seguridad para que el transporte sea seguro. Con el fin de importarlo a otros países, las terminales deben de ser compatibles con el barco que lo transporta puesto que no todos los barcos tienen la misma construcción.

Su carga y descarga requiere primordialmente un buen inertizado con nitrógeno ya que su contacto con el aire puede crear una atmósfera explosiva. También un buen enfriamiento de líneas para evitar un aumento de presión por su estado en gas. A su vez, el control en las barreras primarias y secundarias del tanque es una parte importante del mantenimiento durante las operaciones, pues evita daños estructurales en los tanques. Por lo expuesto, entendemos que es un barco sofisticado. A igualdad de tamaño, el precio de un gasero nuevo es dos veces el de un buque portacontenedores y cuatro veces el de un granelero.

Crecimiento en número y tamaño, dado el crecimiento de la demanda, sofisticación y alto riesgo, deben conllevar una adecuada formación de la gente a bordo. Fundamentalmente, las nuevas tripulaciones. Nuestra experiencia durante 7 meses en este tipo de buques ha detectado esta deficiencia. La falta de un manual operativo que ayude a las nuevas tripulaciones a encarar el reto de gestionar estos buques de última generación.

A lo largo de este trabajo intentaremos dar respuesta a esta demanda en el conocimiento y formación.

## **II. ABSTRACT**

Natural gas, which is extracted from the deposits associated or not with crude oil, has methane as its main component. It is used primarily as a source of energy for heavy industry, to obtain heating and, increasingly, as fuel for transportation. Its volume in the liquid state is about 600 times less than its volume in gaseous state, therefore its transport by sea is carried out in liquid state at a temperature of  $-160^{\circ}\text{C}$ , temperature at which it passes to liquid state at atmospheric pressure. The ships that transport gas in liquid are built to keep good maintenance in order to avoid the greatest dangers that may exist. These ships have large security measures to make its transport safe. In order to import the gas to other countries, the terminals must be compatible with the ship that transports it since not all ships have the same construction. Its loading and unloading operations requires primarily a good inertization with nitrogen since its contact with air can create an explosive atmosphere. Also, a good cooling down of lines to avoid an increase in pressure values due to its gas state. At the same time, the control of primary and secondary tank barriers is an important part of maintenance during operations, as it prevents structural damage to the tanks.

Therefore, we understand that it is a sophisticated vessel. Equal in size, the price of a new gas carrier is twice expensive than a container ship and four times more than a bulk carrier. Growth in number and size, due to the increasing demand, the sophistication of the vessel and the high risks associated to this ones, adequate training must be performed to the crewmembers, especially the new crewmembers. Our experience during 7 months in this type of vessels has detected the lack of an operational manual that helps new crewmembers to face the challenge of managing these next generation of sophisticated vessels. Throughout this manual we will try to answer to this demand in knowledge and lack of training.

**III. PALABRAS CLAVE:** Gasero, Operaciones + Carga + Descarga, Gas Natural Licuado, Transporte, Procedimientos, Seguridad.

**IV. KEYWORDS:** Gas Carrier, Loading + Discharge + Operations, Natural Liquefied Gas, Transport, Procedures, Security.



## V. LISTA DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1. Evolución de la flota mundial de buques LNG. Fuente:</i>	11
<i><a href="https://www.gasinfocus.com/en/indicator/evolution-of-the-global-lng-carrier-fleet/">https://www.gasinfocus.com/en/indicator/evolution-of-the-global-lng-carrier-fleet/</a></i>	
<i>Ilustración 2. Buque Hispania Spirit en el Canal de Suez. Fuente: Buque Hispania Spirit.</i>	13
<i>Ilustración 3. Construcción de tanques GT2. Fuente: Manual de Carga del buque Hispania Spirit.</i>	14
<i>Ilustración 4. Gas natural producido en metros cúbicos. Fuente: IndexMundi.</i>	17
<i>Ilustración 5. Importaciones y exportaciones por zonas geográficas. Fuente: Cores: Importaciones y exportaciones de gas natural.</i>	18
<i>Ilustración 6. Distribución de las líneas de carga de un buque GNL de 140677.9m3. Fuente: Manual de Carga del buque Hispania Spirit.</i>	22
<i>Ilustración 7. Domo de líquido de uno de los tanques. Fuente: El autor, buque Hispania Spirit.</i>	23
<i>Ilustración 8. Líneas de achique de uno de los tanques. Fuente: El autor, buque Hispania Spirit.</i>	24
<i>Ilustración 9. Domo de vapor de uno de los tanques. Fuente: El autor, buque Hispania Spirit.</i>	25
<i>Ilustración 10. Rociadores de uno de los domos de vapor. Fuente: El autor, buque Hispania Spirit.</i>	26
<i>Ilustración 11. Esquema de la bomba de descarga. Fuente: Manual de Carga del buque Hispania Spirit.</i>	29

<i>Ilustración 12. Esquema de la bomba de achique. Fuente: Manual de Carga del buque Hispania Spirit.</i>	31
<i>Ilustración 13. Esquema de la bomba de emergencia del barco. Fuente: Manual de Carga del buque Hispania Spirit.</i>	33
<i>Ilustración 14. Sistema y control de los dos compresores High Duty del barco. Fuente: El autor, IAS del buque Hispania Spirit.</i>	36
<i>Ilustración 15. Sistema y control de los compresores Low Duty del barco. Fuente: El autor, IAS del buque Hispania Spirit.</i>	38
<i>Ilustración 16. Esquema de los calentadores. Fuente: Manual de Carga del buque Hispania Spirit.</i>	40
<i>Ilustración 17. Esquema del funcionamiento del Vaporizador Forzado y Vaporizador de GNL. Fuente: El autor, IAS del buque Hispania Spirit.</i>	42
<i>Ilustración 18. Esquema del funcionamiento del vaporizador del GNL. Fuente: Manual de Carga del buque Hispania Spirit.</i>	43
<i>Ilustración 19. Esquema de funcionamiento del Vaporizador Forzador. Fuente: Manual de Carga del buque Hispania Spirit.</i>	46
<i>Ilustración 20. Esquema de enfriamiento de tanques. Fuente: Manual de Carga del buque Hispania Spirit.</i>	49
<i>Ilustración 21. Esquema de amarre de cabos tipo 4-2-2-4. Fuente: OCIMF, Mooring Equipment Guidelines</i>	52
<i>Ilustración 22. Esquema de prueba de presión con nitrógeno en el manifold. Fuente: Manual de Carga del buque Hispania Spirit.</i>	56
<i>Ilustración 23. Esquema de enfriamiento de líneas a la llegada de la terminal. Fuente: Manual de Carga del buque Hispania Spirit.</i>	60

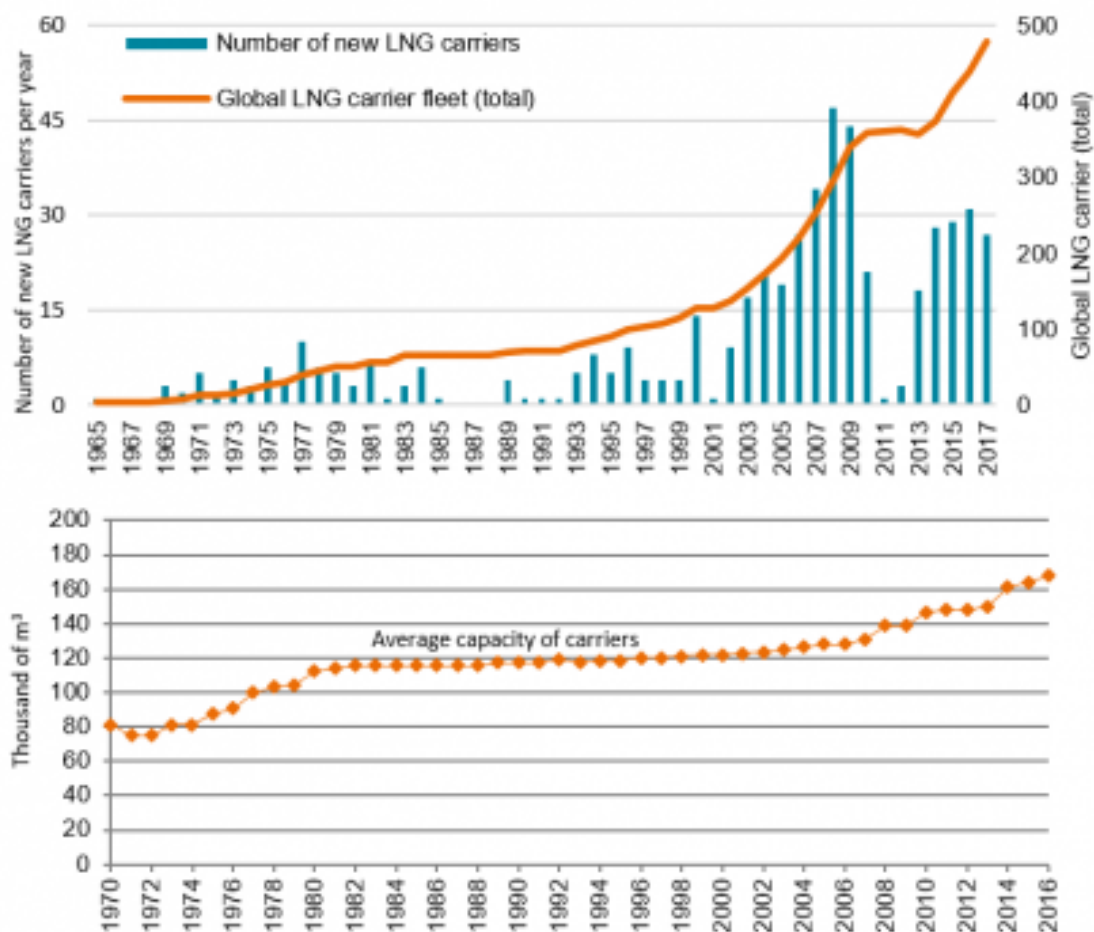
<i>Ilustración 24. Esquema de lastre. Fuente: El autor, IAS del buque Hispania Spirit.</i>	63
<i>Ilustración 25. Esquema de tanques de lastre. Fuente: El autor, IAS del buque Hispania Spirit.</i>	63
<i>Ilustración 26. Esquema de quemado de gas de metano en las calderas. Fuente: Manual de Carga del buque Hispania Spirit.</i>	70
<i>Ilustración 27. Esquema de alineamiento para el uso del Vaporizador Forzado. Fuente: Manual de Carga del buque Hispania Spirit.</i>	75
<i>Ilustración 28. Esquema de enfriamiento de líneas. Fuente: Manual de Carga del buque Hispania Spirit.</i>	79
<i>Ilustración 29. Esquema de descarga con retorno de gas procedente de la terminal. Fuente: Manual de Carga del buque Hispania Spirit.</i>	86
<i>Ilustración 30. Esquema de alineamiento para el uso del vaporizador de GNL. Fuente: Manual de Carga del buque Hispania Spirit.</i>	89
<i>Ilustración 31. Esquema de mensajero. Fuente: Manual de Carga del buque Hispania Spirit.</i>	103

## VI. LISTA DE TABLAS

*Tabla 1. Principales componentes del gas natural. Fuente: Manual de Carga del buque Hispania Spirit.* 15

*Tabla 2. Relación entre presión y temperatura de vaporización del metano. La temperatura viene dada en grados Celsius y la presión en kPa. Fuente: Manual de Carga del buque Hispania Spirit.* 19

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA



*Ilustración 1. Evolución de la flota mundial de buques LNG. Fuente: <https://www.gasinfocus.com/en/indicator/evolution-of-the-global-lng-carrier-fleet/>*

En el año 2005 la flota mundial de buques LNG era de 205 buques, a finales del año pasado navegaban 550 buques para el transporte de gas natural licuado. Algo más de 2,5 veces la flota de hace apenas 14 años.

Esto implica que la demanda de oficiales de cubierta para este tipo de buques es importante. Un tipo de buque con una tecnología punta y altamente automatizado, que transporta una gas licuado, altamente inflamable, a 163 grados bajo cero, con el riesgo que ello conlleva.

La necesidad de formación de los tripulantes que llegan por primera vez a este tipo de buques es evidente. La falta de información, en los buques, al respecto, también lo es.

De esta manera, el problema ya está planteado. La necesidad de una formación clara y rápida para las personas que se incorporan a bordo. Y en las siguientes páginas trataremos de darle solución.

## **2. METODOLOGÍA.**

Fruto de nuestra propia experiencia a bordo del Hispania Spirit, a lo largo de 7 meses, de las conversaciones con los oficiales del buque y de los manuales existentes a bordo, y los procedimientos, documentados o no, seguidos durante las diferentes operaciones realizadas con la carga, hemos elaborado este trabajo, que desarrollamos a continuación.

## **3. INTRODUCCIÓN**

Basándonos en el buque Hispania Spirit, el objetivo de este trabajo es crear un manual de operaciones confeccionado partiendo de nuestra experiencia durante 7 meses en este buque, sirviendo de gran utilidad para los futuros alumnos que naveguen en buques gaseros con el fin de realizar sus prácticas, puesto que a bordo fue difícil encontrar un manual con todos los pasos tan detallados.

El buque Hispania Spirit se construyó en el año 2004 en Corea. Su puerto de registro es Santa Cruz de Tenerife.

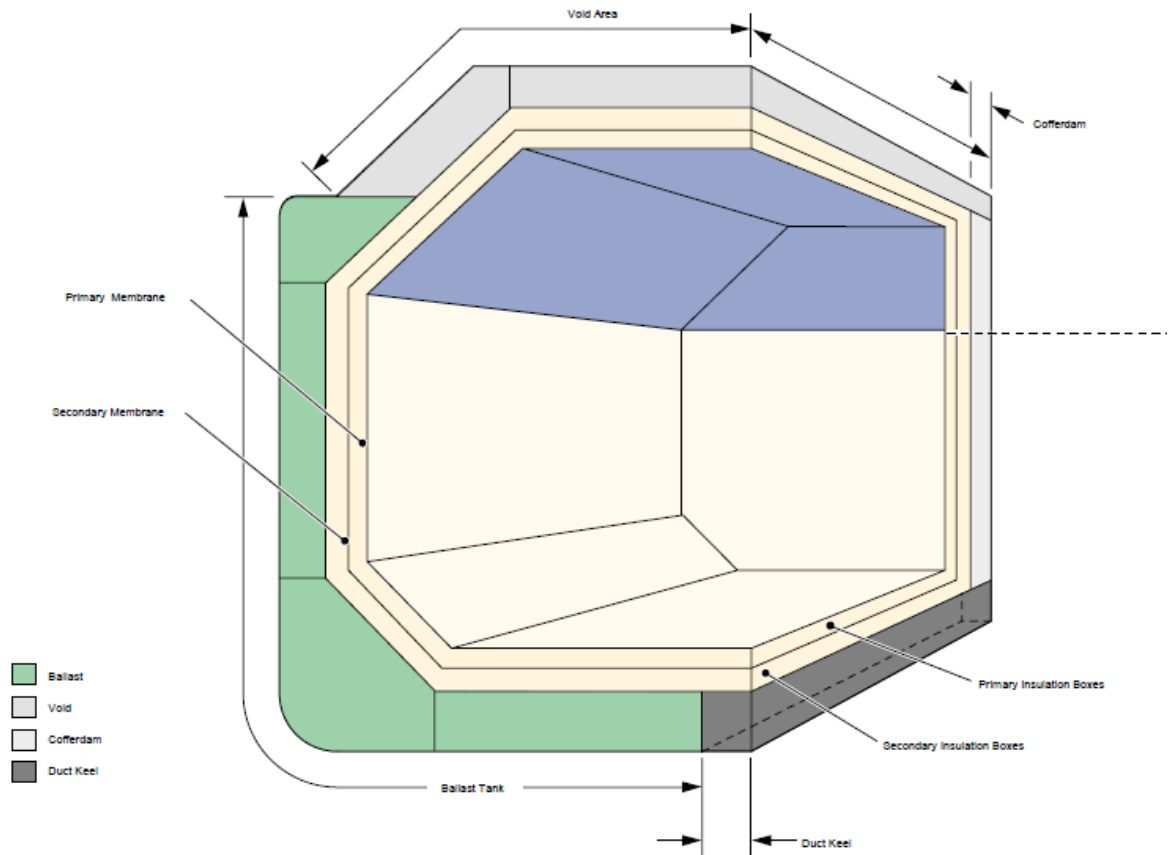
Cuenta con una eslora de 279.8 m y una manga de 43.4 m. Tiene 4 tanques de carga del GNL con una capacidad total de 140677.9 m<sup>3</sup> llenados al 100%, y 14 tanques de lastre haciendo un total de 53107.7m<sup>3</sup> llenados al 100%.



*Ilustración 2. Buque Hispania Spirit en el Canal de Suez. Fuente: Buque Hispania Spirit.*

Centrándonos en la construcción GT2 de doble membrana de los tanques, tenemos que:

- Desde el tanque a la cubierta del casco del barco, los tanques de carga están rodeados por los tanques de lastre, que permiten proteger los tanques de carga en caso de accidente o varada.
- Entre tanques existen espacios vacíos con sistemas de glicol para mantener caliente las separaciones entre tanques cuando van cargados, pues se congelaría todo pudiendo llegar a producir fracturas.
- Entre los tanques de carga y los tanques de lastre hay dos espacios de aislamiento con sus respectivas membranas compuestas por el material de perlita y por nitrógeno, para ayudar al enfriamiento de la carga y a la presión de los tanques y evitar posibles derrames o fugas de la carga. En caso de que la primera barrera falle, está la segunda barrera para evitar mayores daños.



*Ilustración 332. Construcción de tanques GT2. Fuente: Manual de Carga del buque Hispania Spirit.*

#### **4. GAS NATURAL**

El gas natural es una mezcla de gases producidos por la destilación natural de la materia orgánica enterrada durante siglos en los estratos de la corteza terrestre. Se extrae de yacimientos asociados con el crudo del petróleo (gas natural asociado) o de yacimientos acompañados sólo por pequeñas cantidades de materias condensables (gas natural no asociado). Su peso específico es de 0.6 a 0.65, y pesa de 750 a 785 gramos por metro cúbico.

Su principal constituyente es el metano, junto con los hidrocarburos más ligeros.



#### **4.1 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS COMPONENTES DEL GAS NATURAL**

	Metano	Etano	Propano	Butano	Pentano	Nitrógeno
Peso Molecular	16,042	30.068	44.094	58.120	72.150	28.016
Punto de ebullición a 1 bar absoluto (°C)	-161,5	-88.6	-42.5	-5	36.1	-196
Densidad del líquido en el punto de ebullición (Kg/m3)	426	544.1	580.7	601.8	610.2	808.6
Densidad con respecto al aire	0.554	1.046	1.540	2.07	2.49	0.97
Límites inflamables en el aire por volumen (%)	5,3 a 14	3 a 12.5	2.1 a 9.5	2 a 9.5	3 a 12.4	No inflamable
Calor de vaporización en el punto de ebullición (kJ/kg)	510.4	489.9	426.2	385.2	357.5	199.3

*Tabla 1. Principales componentes del gas natural. Fuente: Manual de Carga del buque Hispania Spirit.*

El gas natural se transforma en gas líquido en las plantas de licuefacción, instalaciones que permiten enfriar grandes cantidades de gas natural. Para licuar el gas, se enfría hasta una temperatura de aproximadamente  $-160^{\circ}\text{C}$  convirtiendo su estado en líquido a presión atmosférica. Una vez realizado el proceso de licuefacción, el GNL ocupa un volumen aproximadamente 600 veces menor que el gas natural. Por esta razón, se almacena y se transporta en forma líquida, reduciendo así también los costes de transporte y de almacenamiento. El gas natural licuado, forma un líquido incoloro e inodoro. (Beggs, 1985)

Durante el transporte por mar, el calor se transfiere a los tanques de carga, provocando la ebullición o vaporización de una parte de ésta. Así, la composición del gas natural varía dependiendo de su ebullición. Las propiedades del GNL así como el punto de ebullición, la densidad y el valor de calentamiento, tienen una tendencia a aumentar durante el viaje. (Erik Vanem, 2008)

La composición del GNL se modifica mediante el proceso de ebullición debido a que los componentes más ligeros, que tienen puntos de ebullición más bajos a la presión atmosférica, se vaporizan primero. Por ello, el GNL descargado tiene un porcentaje menor de nitrógeno y metano que el GNL cargado, y un porcentaje ligeramente mayor de etano, propano y butano, debido a que el metano y el nitrógeno se evaporan con preferencia al ser gases menos pesados.

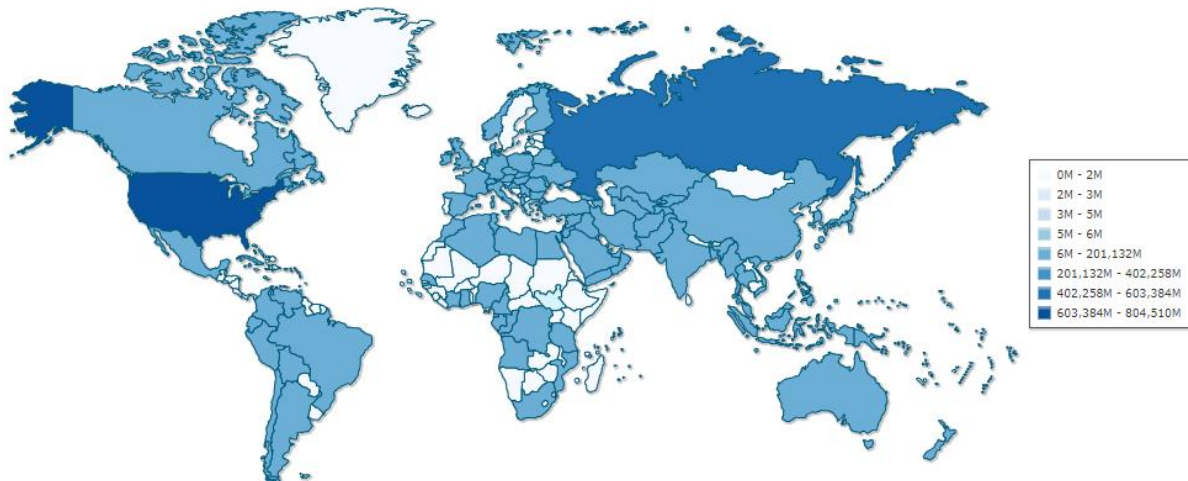
Siempre que el vapor se elimine continuamente manteniendo la presión constante, el GNL permanece a su temperatura de ebullición. Si se reduce la presión de vapor al eliminar más vapor del que se genera, la temperatura del GNL disminuirá. Para compensar la presión de equilibrio correspondiente a su temperatura, la vaporización del GNL se acelera, lo que resulta en una mayor transferencia de calor de GNL a vapor.

Si la presión de vapor aumenta al eliminar menos vapor del que se genera, la temperatura del GNL aumentará. Para reducir la presión a un nivel correspondiente al equilibrio con su temperatura, la vaporización del GNL disminuye y la transferencia de calor del GNL al vapor se reduce.

#### **4.2 PRINCIPALES USOS DEL GAS NATURAL**

- Calefacción de edificios y procesos industriales, mediante calderas.
- Centrales eléctricas de alto rendimiento, como son las de ciclo combinado gas-vapor.
- Como gas natural vehicular, combustible cada vez más empleado en camiones, autobuses o buques, en forma de gas natural comprimido (GNC) o gas natural licuado (GNL)
- Como pila de combustible para generar energía eléctrica en vehículos de hidrógeno.

#### **4.3 PRODUCCIÓN DEL GAS NATURAL SEGÚN EL PAÍS DE ORIGEN**



*Ilustración 4. Gas natural producido en metros cúbicos. Fuente: IndexMundi.<sup>1</sup>*

Dependiendo del país de origen, el contenido en metano varía. Para tener una idea del poder calorífico del gas, me baso en la unidad de medida británica (BTU), que es la energía

---

<sup>1</sup> <https://www.indexmundi.com/map/?v=136&l=es>

necesaria para elevar 1° Fahrenheit 1 Libra de agua. 1 metro cúbico de gas natural equivale a aproximadamente 35.069 BTUs.

#### 4.4 TRÁFICO DE GNL

En el pasado mes de diciembre, las importaciones netas de gas natural experimentaron un incremento del 8,6% frente al mismo mes de 2017. Del mismo modo, aumentaron las de GNL con un crecimiento del 13,5%. Según zonas geográficas, ascendieron las importaciones procedentes de Europa y Euroasia (+61,3%), América Central y del Sur (+13,6%) y África (+3,4%), mientras caen interanualmente los suministros de Oriente Medio (-45,5%) y América de Norte (-1,5%).

En el mismo mes, los principales suministradores fueron Argelia (+42,6%) y Nigeria (+13,0%). El país de Portugal continuó siendo el principal destino de las exportaciones en diciembre, con el 81,3%. En 2018, las exportaciones ascendieron un 12,7% frente a 2017.



*Ilustración 5. Importaciones y exportaciones por zonas geográficas. Fuente: Cores: Importaciones y exportaciones de gas natural.<sup>2</sup>*

<sup>2</sup> <https://www.cores.es/sites/default/files/archivos/icores/i-cores-imp-export-gn-mar19.pdf>

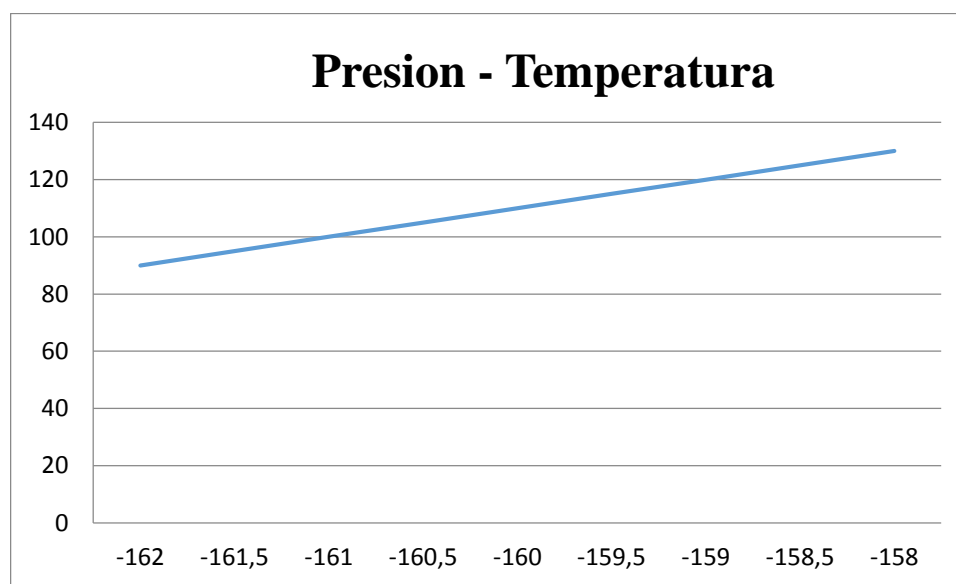
#### 4.5 PROPIEDADES DEL METANO

El metano es el hidrocarburo alcano más sencillo. Es incoloro, inodoro e insoluble en agua. Es un gas de efecto invernadero que contribuye al calentamiento de la tierra. No es tóxico. Su principal peligro para la salud son las quemaduras que puede provocar si entra en ignición. El metano es un asfixiante en altas concentraciones porque diluye la cantidad de oxígeno en el aire por debajo de la necesaria para mantener la vida. Debido a su inactividad, el metano no es un contaminante significativo del aire y, debido a su insolubilidad, inactividad y volatilidad, no se considera un contaminante del agua.

Es inflamable. El rango de inflamabilidad del metano en el aire, con un 21% de oxígeno, es de aproximadamente 5,3 a 14% en volumen. Para reducir este rango, el aire se diluye con nitrógeno hasta que el contenido de oxígeno se reduce al 5 % antes de la carga. (Paweł Głomski, 2011).

La temperatura más baja a la que se debe calentar el gas para provocar una combustión auto sostenida es de 595 ° C.

El punto de ebullición del metano aumenta con la presión.



*Tabla 2. Relación entre presión y temperatura de vaporización del metano. La temperatura viene dada en grados Celsius y la presión en kPa. Fuente: Manual de Carga del buque Hispania Spirit.*

Para evitar mezclas inflamables los tanques y las líneas que contienen aire deben ser inertizados con nitrógeno antes de introducir metano hasta que todos los puntos de muestreo indiquen un contenido de 5% o menos de oxígeno. Del mismo modo, los tanques y las líneas que contienen metano deben inertarse con nitrógeno antes de ingresar aire hasta que todos los puntos de muestreo indiquen un 5% de metano.

## **5. OTROS GASES INTERVIENIENTES EN LA CARGA: GASES INERTES.**

### **5.1 NITRÓGENO**

El nitrógeno es el gas más común en la naturaleza ya que representa el 79% en volumen del aire atmosférico. A temperatura ambiente, el nitrógeno es un gas incoloro e inodoro. Su densidad es cercana a la del aire.

El nitrógeno se utiliza para la presurización de los espacios de aislamiento, para la purga de las líneas de carga, extinción de incendios en el mástil de ventilación y para el sellado de los compresores de gas. Todo ello se realiza mediante la vaporización del nitrógeno líquido suministrado desde la terminal o mediante generadores cuyo principio se basa en membranas de fibra hueca para separar el aire en nitrógeno y oxígeno. Basándonos en nuestro barco, nosotros sólo recibimos nitrógeno de la terminal para drenar y purgas las líneas después de las operaciones.

El nitrógeno es considerado un gas inerte, pues no es inflamable y no tiene afinidad química. Sin embargo, a altas temperaturas, se puede combinar con otros gases y metales.

### **5.2 GAS INERTE**

Es el gas que se utiliza para prevenir la combustión de vapores inflamables. Su composición depende del método de su producción. Lo más importante es que tenga bajo contenido en Oxígeno. Sus principales componentes son el nitrógeno y los gases nobles, como por ejemplo el Argón, Kriptón, etc.

El gas inerte se utiliza para reducir el contenido de oxígeno en el sistema de carga, tanques, líneas y compresores, para así evitar una mezcla de aire-metano antes del calentamiento del puesto de aireación, antes de la reparación y antes de la gasificación. El gas inerte se produce a bordo utilizando un generador de gas inerte suministrado por SMIT, que produce gas inerte a 14,000 m<sup>3</sup> / h con un punto de rocío de -45 ° C que quema gasóleo de bajo contenido de azufre.

El gas inerte es ligeramente más denso que el aire. Su calidad depende del fuel usado para la combustión y de las condiciones en las que se opere.

El nitrógeno y el gas inerte pueden ser asfixiantes debido a su bajo contenido en oxígeno.

## **6. NOMBRAMIENTO DE LÍNEAS**

El sistema de líneas se muestra en la siguiente ilustración.

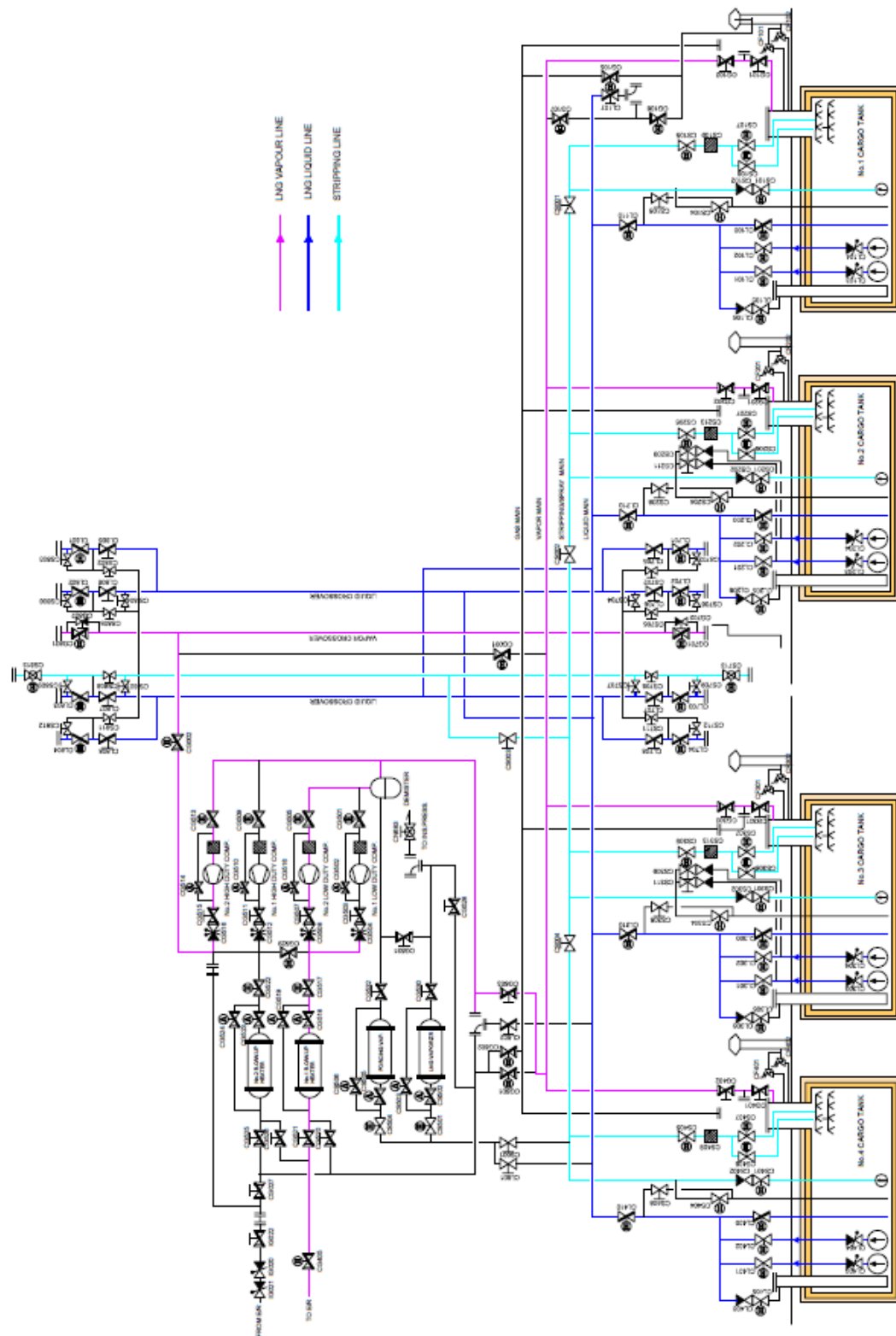


Ilustración 6. Distribución de las líneas de carga de un buque GNL de 140677.9m3.  
Fuente: Manual de Carga del buque Hispania Spirit.



## 6.1 DOMO DE LÍQUIDO



*Ilustración 7. Domo de líquido de uno de los tanques. Fuente: El autor, buque Hispania Spirit.*

En el domo de líquido se conectan las líneas de descarga, la línea de carga, la línea de la bomba de emergencia y la línea de achique.

La carga se carga y se descarga a través de las dos principales **líneas de líquido** (azul oscuro) que atraviesan el barco de estribor a babor desde el manifold. Cada una de estas líneas se divide en dos, lo que hace un total de 4 líneas para la carga o la descarga a cada banda del barco. La carga llega a cada uno de los tanques por la línea de líquido que atraviesa el barco de proa a popa, entrando así por el domo de líquido, siendo la resultante de la línea de carga que carece de bomba propia.

En la ilustración 6 se muestra las dos líneas de descarga de cada tanque con sus respectivas bombas.

La **línea de achique** (azul claro) se usa para el enfriamiento de las líneas antes de las operaciones. Se puede conectar a la línea de líquido para continuar el enfriamiento. También se utiliza como suplemento de gas a los compresores y calentadores, y como achique para los tanques.



*Ilustración 8. Líneas de achique de uno de los tanques. Fuente: El autor, buque Hispania Spirit.*

La **línea de emergencia** se muestra en azul, situada en la parte más a la izquierda de cada tanque, con un espacio rectangular para situar la bomba de emergencia en caso de necesidad.

## **6.2 DOMO DE VAPOR**



*Ilustración 9. Domo de vapor de uno de los tanques. Fuente: El autor, buque Hispania Spirit.*

Los domos de vapor de los tanques se mantienen en comunicación entre sí por la principal **línea de vapor** (línea rosa) que va hacia proa y hacia popa a lo largo de la cubierta principal. Está conectada con una línea que va directa al manifold para regular la presión de los tanques cuando se está cargando o descargando. También está conectada a la sala de compresores y al mástil de ventilación número 1. Esta línea principal también dirige el gas de ebullición a la sala de máquinas para quemar gas, a través de los compresores Low Duty, y así calentar el gas.

Durante la carga, la línea de vapor que se dirige a la sala de compresores y los compresores High Duty, se utiliza para devolver el gas desplazado de los tanques a la instalación en tierra. Al descargar, la línea de vapor, junto con un posible vaporizador, se usa para suministrar gas a los tanques para reemplazar la carga líquida saliente.



Las líneas de achique (azul claro) están conectadas también al domo de vapor de cada tanque para el enfriamiento del tanque y para la generación de gas. El domo de vapor también alberga las válvulas de seguridad del tanque, la presión y los tres puntos de muestra. La línea de achique contiene en la entrada de cada domo de vapor dos válvulas rociadoras para así ayudar en la evaporación y lograr una mejor tasa de enfriamiento.



*Ilustración 10. Rociadores de uno de los domos de vapor. Fuente: El autor, buque Hispania Spirit.*

De cada domo de vapor hay una línea de gas que se dirige a cada mástil de ventilación del respectivo tanque para usar cuando se requiera la operación única de éste. El uso de esta línea permite aislarlo y realizar trabajos de reparación sin tener que calentar e inertizar

todo el barco. Durante las operaciones de un solo tanque, es posible conectarse al generador de gas inerte por medio de una pieza auxiliar, que se suministra para ajustes necesarios y usos poco frecuentes.

Durante el transporte del GNL por mar, el vapor de gas se produce debido a la transferencia de calor desde el mar y el aire, a través del aislamiento del tanque, pero también se absorbe energía del movimiento de la carga debido al movimiento del barco. En condiciones normales de energía, el gas se utiliza como medio de combustible en las calderas del barco. El vapor de gas se toma del domo de vapor y se pasa a través del condensador para ser llevado a los compresores LD. Por último, pasa por los calentadores antes de ir a las calderas donde se quema como combustible.

### **6.3 PARTICULARIDADES EN LAS LÍNEAS**

En ciertos puntos a lo largo de todas las líneas, se ajustan bridas y puntos de muestra para facilitar la inercia y la aireación del sistema durante el reacondicionamiento. Así mismo, las secciones de las líneas fuera de los tanques de carga están aisladas con una espuma de poliuretano rígida cubierta con una cubierta de PRFV moldeada para actuar como una barrera resistente al agua y al vapor. (Pentatech CO., 2004)

Todas las líneas de carga están soldadas para reducir la posibilidad de fugas en las juntas. Las conexiones con bridas están unidas eléctricamente por medio de correas provistas entre bridas para asegurar que se eviten las diferencias en el potencial, debido a la electricidad estática entre la carga y otras tuberías de cubierta, tanques, válvulas y otros equipos. Tanto los sistemas de líquido como los de vapor han sido diseñados de tal manera que la expansión y la contracción se absorben en la configuración de la tubería. Esto se hace por medio de bucles de expansión y fuelles en las líneas de líquido y vapor respectivamente. Se proporcionan guías y soportes de tubería fijos y deslizantes para garantizar que las tensiones de la línea se mantengan dentro de límites aceptables.

Todas las secciones de la línea de líquido se pueden aislar y, por lo tanto, puede quedar líquido atrapado entre varias válvulas cerradas. Estas líneas están provistas de válvulas de seguridad que liberan el exceso de presión en el domo de vapor más cercano. Es una

medida de seguridad, aunque la práctica normal de trabajo es permitir que el líquido restante se caliente y hierva antes de cerrar cualquiera de esas válvulas.

Todas las válvulas principales, como las válvulas del manifold, también llamadas ESD Manifold, y las válvulas individuales de carga y descarga del tanque, se operan a distancia desde el IAS, de modo que todas las operaciones de carga se pueden realizar desde la sala de control de carga. (Ikoku, 1980).

## **7. MAQUINARIA NECESARIA PARA LOS PROCESOS DE CARGA, TRANSPORTE Y DESCARGA.**

### **7.1 BOMBAS**

El buque está equipado con bombas de descarga centrífugas de una sola etapa, mientras que las bombas de achique son de dos etapas. Están fabricadas por Ebara Cryodynamics. Se instalan en la parte inferior de cada tanque.

Cada tanque consta de dos bombas de descarga principales y una bomba de achique. También constan de un espacio para situar la bomba de emergencia cuando sea necesario.

#### **A. BOMBA DE CARGA**

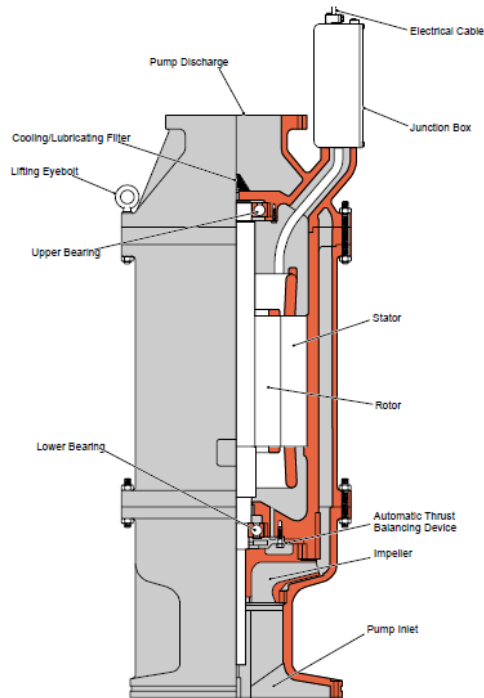
Temperatura de funcionamiento: -163 ° C

Potencia nominal: 448.4 kW

Eficiencia: 80%

Velocidad de rotación: 1,780 rpm.

Nivel mínimo de inicio 0,89 m.



*Ilustración 11. Esquema de la bomba de descarga. Fuente: Manual de Carga del buque Hispania Spirit.*

Cada bomba de descarga tiene una capacidad nominal de 1.700 m<sup>3</sup>/h a 155 m de altura de GNL.

Para obtener unos resultados de descarga óptimos, la descarga se llevará a cabo con 8 bombas en paralelo. Las válvulas de descarga de la bomba se aceleran para garantizar un rendimiento óptimo. Los cambios en el caudal y los niveles del tanque alterarán las lecturas y la válvula de descarga deberá reajustarse.

En condiciones normales, debería ser posible mantener la velocidad de descarga completa hasta que el nivel del tanque se aproxime a aproximadamente 2,3 m, momento en el que la bomba comenzará a cavitarse y perderá succión. Las válvulas de descarga deben acelerarse para estabilizar las condiciones y si fuese necesario, se deberá detener una bomba. La bomba restante deberá acelerarse progresivamente para mantener la succión y evitar el disparo de baja presión de descarga, hasta alcanzar un nivel de aproximadamente 0,37 m.

Al asentar el buque 1 metro o más por la popa, debería ser posible reducir la cantidad de líquido que queda en los tanques antes de que se detengan las bombas.

Las bombas de carga pueden funcionar en circuito cerrado en sus propios tanques abriendo la válvula de carga. Esto es necesario si la descarga se detiene temporalmente cuando los tanques están a un bajo nivel, evitando así los problemas de reinicio con un nivel bajo y una presión de descarga baja.

La bomba se probará antes del puerto de descarga con el mar en calma y durante la carga cuando el nivel del tanque sea de aproximadamente 4 o 5 m, sujeto a la aceptación de la terminal.

La bomba no debe arrancarse ni operarse con la válvula de descarga cerrada, debido a un daño potencial que se puede generar por una refrigeración y lubricación insuficientes para el motor y el rodamiento.

## **B. BOMBA DE ACHIQUE**

Temperatura de funcionamiento: -163 ° C

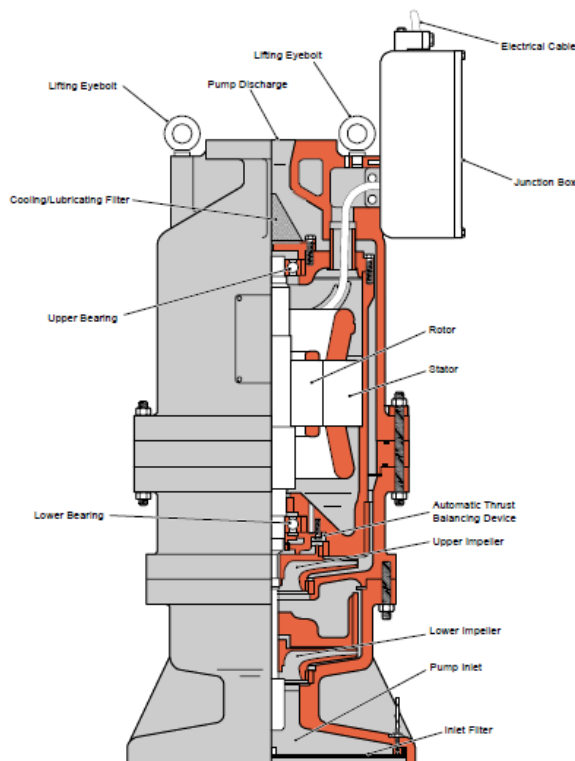
Potencia nominal: 16.9 kW

Eficiencia: 54.4%

Velocidad de rotación: 3,560 rpm.

Tiene una capacidad nominal de 50 m<sup>3</sup>/h a 135 m de GNL.





*Ilustración 1233. Esquema de la bomba de achique. Fuente: Manual de Carga del buque Hispania Spirit.*

Los usos de estas bombas son:

- Para enfriar la línea de líquido antes de descargar.
- Para enfriar el tanque durante el viaje en lastre antes de llegar a la terminal de carga, descargando GNL a la línea de spray en los tanques.
- Para bombear GNL desde los tanques al Vaporizador Forzado cuando se requiera más vaporización de GNL en las calderas.

La bomba debe de arrancarse lo más pronto posible, antes de que los niveles del tanque lleguen a 0,5 m.

## **PARADA AUTOMÁTICA DE LAS BOMBAS**

Las bombas de descarga y de achique deben de pararse automáticamente en las siguientes situaciones:

- Cuando la presión del tanque está por debajo o es igual a la presión del espacio de aislamiento primario.
- Cuando la presión de la línea principal de vapor está por debajo o es igual a la presión atmosférica.
- Cuando se llega a un nivel extremo en el tanque de carga, volumen del 99%.
- Cuando se produce la activación de la parada de emergencia, ESD.
- Cuando el motor está en modo monofásico.
- Cuando hay baja o alta corriente del motor.
- Cuando hay baja presión de descarga con retraso en el arranque.
- Cuando el tanque está con muy bajo nivel de carga.

### **C. BOMBA DE EMERGENCIA**

Solo hay una bomba de emergencia en el barco.

Temperatura de funcionamiento: -163 ° C

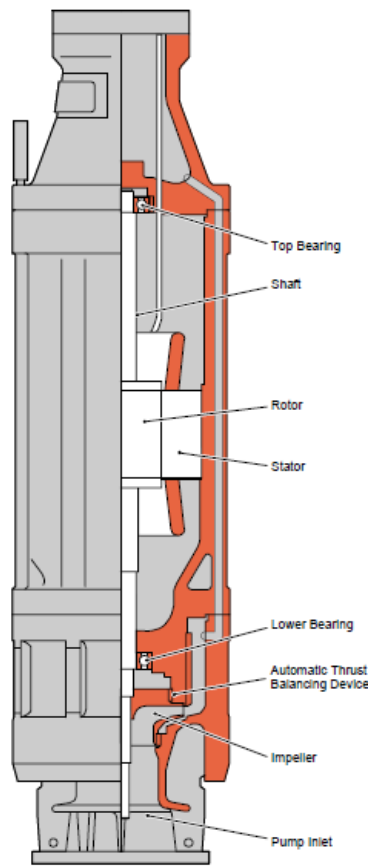
Potencia nominal: 158,9 kW

Eficiencia: 73.0%

Velocidad de rotación: 3,560 rpm.

Nivel mínimo de inicio: 0,86 m.

Su capacidad nominal de flujo es de 550 m<sup>3</sup> / h



*Ilustración 13. Esquema de la bomba de emergencia del barco. Fuente: Manual de Carga del buque Hispania Spirit.*

Cada tanque de carga está equipado con una columna para la bomba de emergencia. Esta columna tiene una válvula de pie que se mantiene en posición cerrada mediante unos resortes fuertemente cargados. Si el fallo de una o ambas bombas de carga en un tanque requiere el uso de la bomba de emergencia, ésta se introduce en la columna después de que se haya purgado con nitrógeno, manteniendo un pequeño flujo de este para su instalación. El peso de la bomba de emergencia supera la fuerza de los resortes para abrir la válvula de pie. Antes de realizar todo esto, es importante reducir la presión del tanque cerca de la presión atmosférica y mantenerla a este nivel durante toda la operación. Las conexiones eléctricas se hacen en la caja de conexiones fija que se encuentra adyacente a cada bomba de emergencia.

## **7.2 COMPRESORES HIGH DUTY (HD) Y LOW DUTY (LD)**

Los compresores HD y LD son accionados por motores eléctricos instalados en una sala de motores eléctricos separados de la sala de compresores por un mamparo estanco al gas. El eje penetra en el mamparo con un sello de eje hermético al gas.

Ambos son operados localmente o desde el IAS en el control de carga. El mantenimiento de los compresores, en el que se puede producir una ESD, es el siguiente:

- La presión diferencial entre el tanque y el espacio primario no puede ser menos de 0.5 kPa.
- La presión diferencial entre la línea de vapor y la presión atmosférica no puede ser menos de 0,3 kPa
- El nivel de líquido de los tanques no puede ser extremadamente alto (volumen del 99%).
- Controlar los fallos de energía eléctrica o en el flujo de ventilación en la sala del motor eléctrico.
- Se debe de hacer un control de seguridad en el sistema de control local: temperatura del aceite, presión del aceite, temperatura del gas de descarga, presión del gas de sellado y vibración del eje.

### **• SISTEMA DE GAS DE SELLADO**

El gas de sellado es el nitrógeno producido por los generadores de nitrógeno del barco. Se usa para prevenir que el humo del aceite lubricante ingrese en el vapor del GNL comprimido, y para evitar el flujo de gas frío en la caja de engranajes y en el sistema del aceite lubricante.

El sistema se mantiene mediante una válvula de control de presión, donde la presión del gas de sellado es siempre más alta que la presión de succión, generalmente ajustada a 30 kPa.

El gas de sellado que ingresa a la caja de engranajes se devuelve al sumidero del aceite lubricante, separado del aceite y ventilado a la atmósfera a través del mástil de ventilación número 4.

Después de un período de más de 8 días de inactividad, la unidad debe purgarse con nitrógeno seco y caliente. Mientras el sistema de gas de sellado esté en funcionamiento, la máquina puede permanecer en espera durante períodos prolongados.

- **SISTEMA DE ACEITE LUBRICANTE**

El aceite lubricante se almacena en un sistema de 400 litros de sumidero. Un calentador de inmersión de vapor, con una válvula termostática de control de temperatura, está instalado en el sumidero para mantener una temperatura positiva constante y evitar la condensación cuando se detienen los compresores. El calentador cambiará automáticamente el aceite lubricante a una temperatura de 25°C. La bomba auxiliar del aceite lubricante no funciona por debajo de 15 ° C.

El aceite lubricante se suministra desde el sumidero a través de filtros de succión separados y una de las 2 bombas del aceite. La descarga de las bombas se realiza a través de válvulas de retención a una línea de suministro de aceite común que alimenta la caja de engranajes, los cojinetes y el sello de mamparo.

La bomba operativa principal es accionada por el engranaje del eje de alta velocidad. En caso de fallo de la bomba accionada, la bomba auxiliar accionada por el motor eléctrico de reserva se energiza inmediatamente. El aceite lubricante pasa a través de un enfriador de aceite y una válvula de control de temperatura de 3 vías, para mantener la entrada del aceite lubricante a una temperatura aproximada a 35°C.

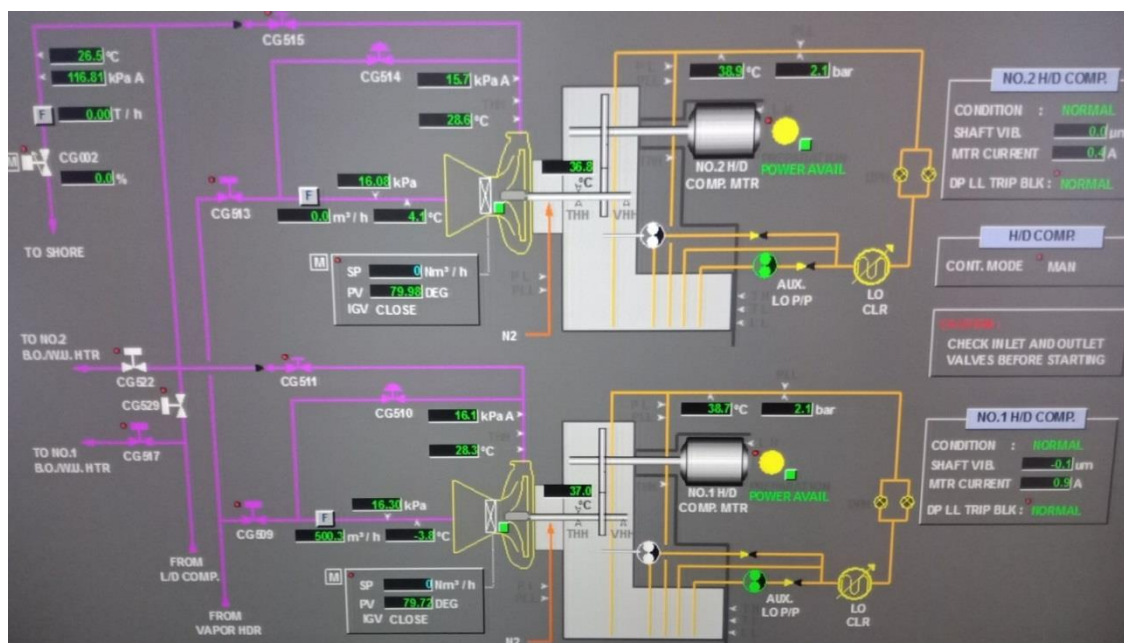
- **SISTEMA DE CONTROL DE SOBREPRESIONES**

El sistema automático de control de sobretensión es para garantizar que el caudal del compresor no esté por debajo del mínimo diseñado durante la operación de arranque y así mantenga un estado estable. Por debajo de ese valor de diseño, el flujo de gas no será estable y el compresor será propenso a subir, causando vibraciones en el eje que pueden dañar el compresor.

- **GUÍA DE ENTRADA DE PALETAS**

Para lograr el flujo de gas requerido, los compresores tienen paletas de guía de entrada instaladas en el extremo de succión. Son accionadas por actuadores neumáticos que reciben señales de control desde el controlador de flujo.

### A. COMPRESSOR HIGH DUTY (HD)



*Ilustración 14. Sistema y control de los dos compresores High Duty del barco. Fuente: El autor, IAS del buque Hispania Spirit.*

Tipo: Centrífugo. Fijo con velocidad de paletas guía ajustable.

Caudal volumétrico: 35.000 m<sup>3</sup> h.

Presión de entrada: 106 kPa.A

Presión de salida: 196 kPa.A

Temperatura de entrada: -140 ° C

Velocidad del eje: 11.200 rpm.

Velocidad del motor: 3,580 rpm.

Potencia nominal del motor: 1.000 kW.

Ajuste de las paletas de guía de entrada: -30 a +85 grados

Eficiencia: 80%

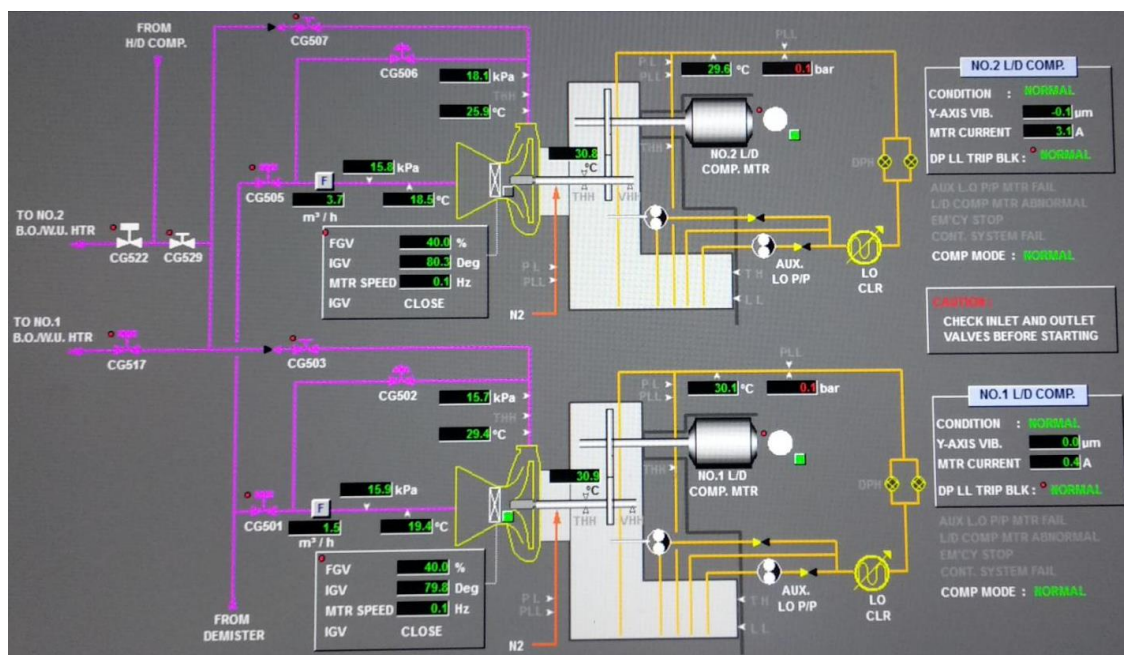
Existen dos compresores de alta resistencia (High Duty), instalados en la sala de compresores, para el manejo de fluidos gaseosos, vapor de GNL y diversas mezclas de este, durante el enfriamiento, la operación de carga y los tratamientos del tanque.

### **PROCEDIMIENTOS DE ARRANQUE**

1. Comprobar el nivel de aceite lubricante en el sumidero.
2. Iniciar el calentador de aceite lubricante unos 30 minutos antes (dependiendo de la temperatura) del arranque del compresor. La temperatura del aceite lubricante debe mantenerse entre aproximadamente 40° y 50°C en operaciones normales.
3. Abrir las válvulas de aspiración y descarga del compresor.
4. Abrir la válvula manual de suministro de gas de sellado.

5. Arrancar la bomba auxiliar del aceite lubricante para calentar la caja de cambios y rodamientos unos 15 o 30 minutos antes del arranque del compresor. Comprobar el sistema de fugas del aceite lubricante.
6. Abrir la entrada y la salida de enfriamiento de agua dulce para el enfriador del aceite lubricante.
7. Abrir el suministro de aire en el panel de control.
8. Asegurarse de que la posición IGV esté en 0% (posición inicial).
9. Encender el gabinete de control.
10. Presionar el botón de reinicio del compresor y verificar que todas las alarmas estén apagadas, y todo listo para arrancar.

## B. COMPRESORES LOW DUTY (LD)



*Ilustración 15. Sistema y control de los compresores Low Duty del barco. Fuente: El autor, IAS del buque Hispania Spirit.*



Tipo: Centrífugo. Velocidad variable con paletas guía ajustables.

Caudal volumétrico: 8.500 m<sup>3</sup> / h.

Presión de entrada: 106 kPa.A

Presión de salida: 196 kPa.A

Temperatura de entrada: -60 ° C

Velocidad máxima del eje: 24,000 rpm.

Velocidad del motor: 3,580 rpm.

Potencia nominal del motor: 280 kW.

Ajuste de la válvula guía de entrada: -30 a +80 grados

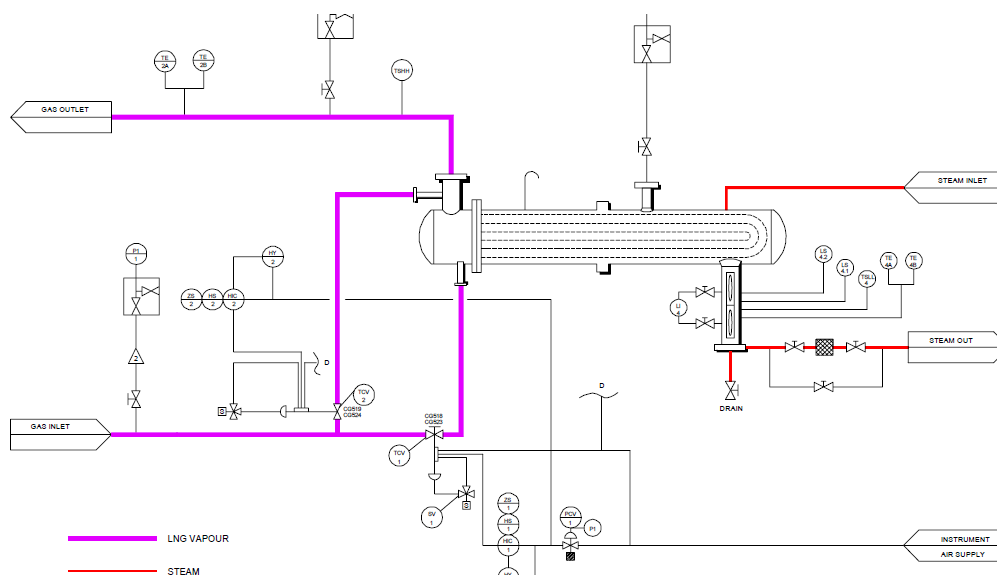
Existen dos compresores de bajo rendimiento (Low Duty), instalados en la sala de compresores, para manejar el vapor de GNL y forzar la vaporización, que se utiliza como combustible.

### **PROCEDIMIENTOS DE ARRANQUE**

1. Comprobar el nivel de aceite lubricante en el sumidero.
2. Iniciar el calentador de aceite lubricante unos 30 minutos antes (dependiendo de la temperatura) del arranque del compresor. La temperatura del aceite lubricante debe mantenerse entre aproximadamente 40° y 50°C en operaciones normales.
3. Abrir las válvulas de aspiración y descarga del compresor.
4. Abrir la válvula manual de suministro de gas de sellado.
5. Arrancar la bomba auxiliar del aceite lubricante para calentar la caja de cambios y rodamientos unos 15 o 30 minutos antes del arranque del compresor. Comprobar el sistema de fugas del aceite lubricante.

6. Abrir la entrada y la salida de enfriamiento de agua dulce para el enfriador del aceite lubricante.
7. Abrir el suministro de aire en el panel de control.
8. Encender el gabinete de control.
9. Encender el controlador de velocidad variable.
10. Configurar las líneas para la correcta operación.
11. Asegurarse de que la posición IGV esté en 0% (posición inicial).
12. Encender el motor del compresor cuando aparezca un mensaje indicando que está listo para funcionar.
13. Poner el compresor en modo automático.

### 7.3 CALENTADOR



Tipo: Intercambiador horizontal de calor de carcasa y tubos.

Capacidad nominal: 17.570 kg/h

Temperatura de entrada del vapor: -140 ° C.

Temperatura máxima de salida del vapor: +80 ° C.

Hay dos calentadores de vapor situados en la sala de compresores.

Los calentadores se utilizan para las siguientes funciones:

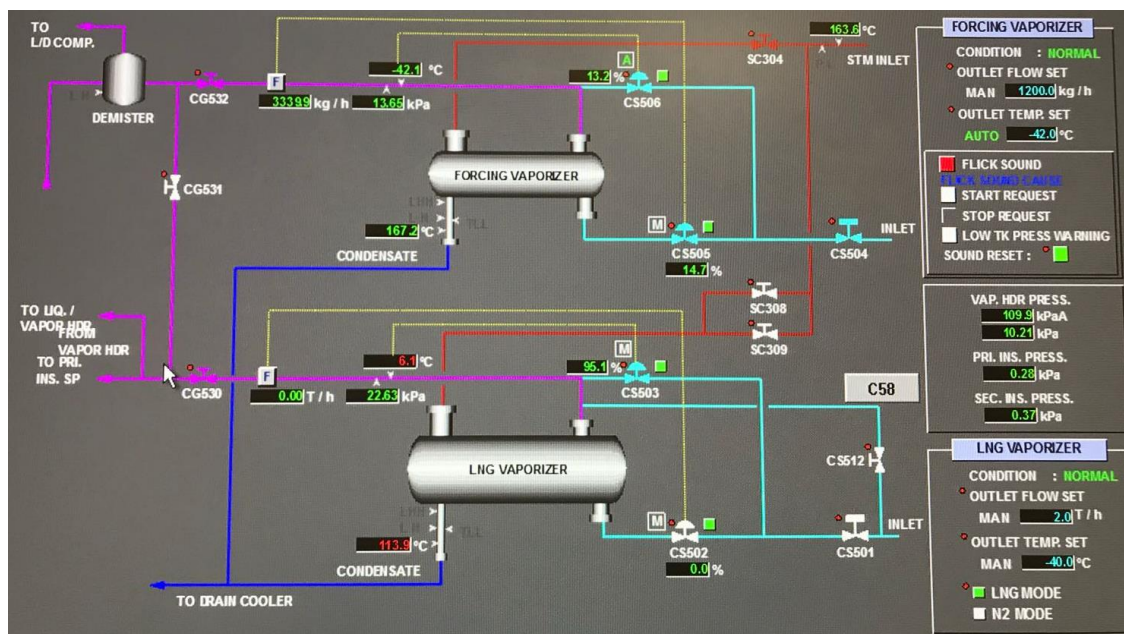
- Calentar el vapor de GNL que llega de los compresores HD a una temperatura específica para calentar los tanques de carga antes de liberar el gas.
- Calentar el gas inerte suministrado desde el generador de gas inerte para el calentamiento con gas inerte.
- Calentar del gas de ebullición para las calderas o ventilación a la atmósfera a través de los compresores LD.

#### **7.4 VAPORIZADOR FORZADO Y DE GNL**

En la siguiente imagen se muestra el esquema del funcionamiento del Vaporizador Forzado y del Vaporizador de GNL.

Ambos están situados en la sala de compresores.

Las alarmas se activan en la temperatura del gas de salida, en alto nivel y en baja temperatura del agua condensada.



*Ilustración 17. Esquema del funcionamiento del Vaporizador Forzado y Vaporizador de GNL. Fuente: El autor, IAS del buque Hispania Spirit.*

## A. VAPORIZADOR DE GNL

El vaporizador de GNL se utiliza para vaporizar el líquido del GNL, y así proporcionar gas al desplazar el gas inerte de los tanques con vapor de GNL, también para mantener la presión en los tanques cuando se descarga el GNL y no se suministra vapor desde la terminal.

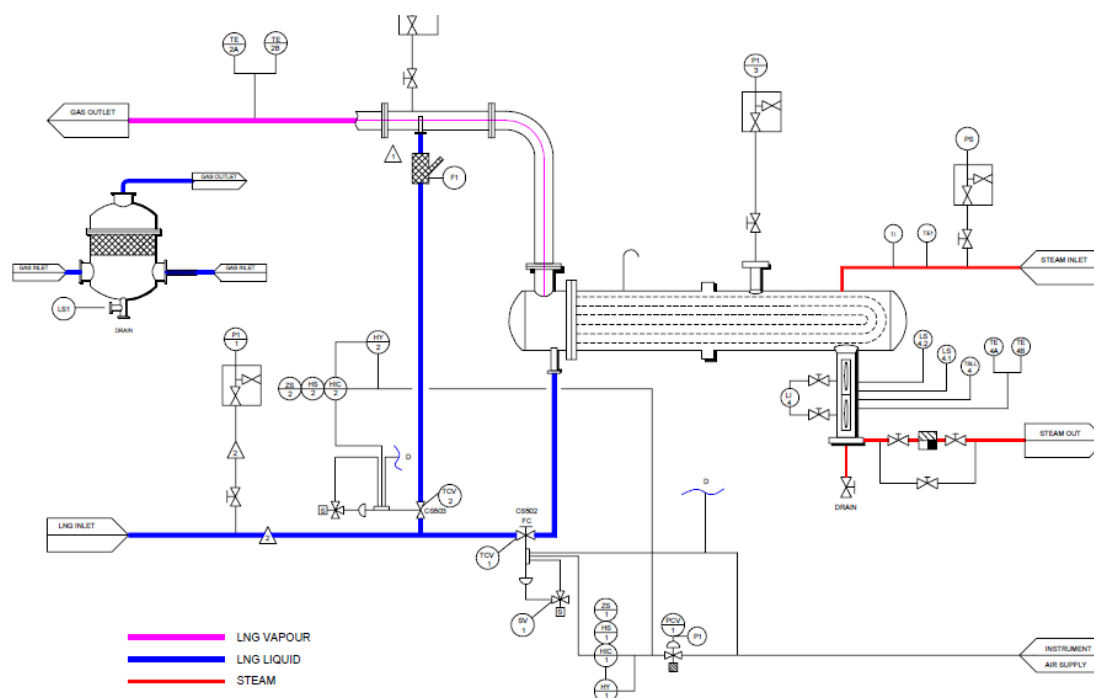
Medio de calentamiento: vapor saturado.

Temperatura de entrada del vapor: 220° C

Flujo máximo de gas: 26,150 kg/h

Temperatura de entrada de GNL: -163° C

Temperatura del gas de salida: -140° C a +20° C



*Ilustración 18. Esquema del funcionamiento del vaporizador del GNL. Fuente: Manual de Carga del buque Hispania Spirit.*

Se usa principalmente para las siguientes funciones:

1. Descargar la carga sin la disponibilidad de un retorno de vapor desde la terminal.

Si la terminal no puede suministrar retorno de vapor, el GNL se lleva al vaporizador usando la bomba de achique. El vapor producido sale del vaporizador a aproximadamente  $-140^{\circ}\text{C}$  y luego se suministra a los tanques de carga a través del domo de vapor, por medio de los rociadores que generan vapor adicional. La presión de vapor en los tanques normalmente se mantendrá a 110 kPa, mínimo 104 kpa, durante toda la operación de descarga.

2. Purgar los tanques de carga con vapor después de la inertización con gas inerte y antes del enfriamiento. El GNL se suministra desde la terminal al vaporizador a través de la línea de achique. El vapor producido a la temperatura necesaria de  $20^{\circ}\text{C}$  se pasa luego a los tanques de carga.
3. Inertizar los espacios de carga y producir el aislamiento.

4. Vaporizador de emergencia mediante operación manual: puede funcionar como el vaporizador forzado cuando el éste ha fallado.
5. Controlar el flujo: cuando el envío de gas para las calderas está muy por encima de la generación natural de ebullición.

## **FUNCIONAMIENTO**

1. Abrir la válvula de ventilación.
2. Abrir la válvula de drenaje. Comprobar que las válvulas de drenaje del condensado estén abiertas.
3. Abrir la válvula manual de suministro de vapor SC308 (asegurándose de que el vapor a cubierta está disponible).
4. Cuando se haya expulsado todo el aire, cerrar la válvula de ventilación.

Después de unos 30 minutos, las presiones y temperaturas se deben de haber estabilizado en el vaporizador.

5. Abrir lentamente la válvula manual de entrada de vapor (SC309).
6. Abrir el suministro de aire los controles del vaporizador.
7. En el control de carga, configurar los controles para el vaporizador de GNL en el IAS.
8. Llenar el vaporizador con líquido usando el control manual. Comprobar las bridas y juntas para cualquier señal de fuga.
9. Cuando se produzca vapor, cambiar el control de la válvula de líquido a remoto y automático.

Al finalizar la operación.

1. Cerrar la válvula de líquido CS501.
2. Cerrar la válvula de suministro de vapor SC309 cuando no quede GNL.

3. Abrir la ventilación, y cuando todo el vapor haya sido ventilado, abrir el drenaje.
4. Mantener la válvula de vapor abierta al sistema hasta que el vaporizador alcance la temperatura ambiente

## **B. VAPORIZADOR FORZADO**

El vaporizador forzado (Forcing Vaporizer), se utiliza para vaporizar el líquido de GNL y así proporcionar gas para quemar en las calderas para complementar el hervido natural.

El GNL es suministrado por la bomba de achique. El flujo de GNL se controla mediante una válvula automática de alimentación que recibe una señal del sistema de gestión de gas de las calderas.

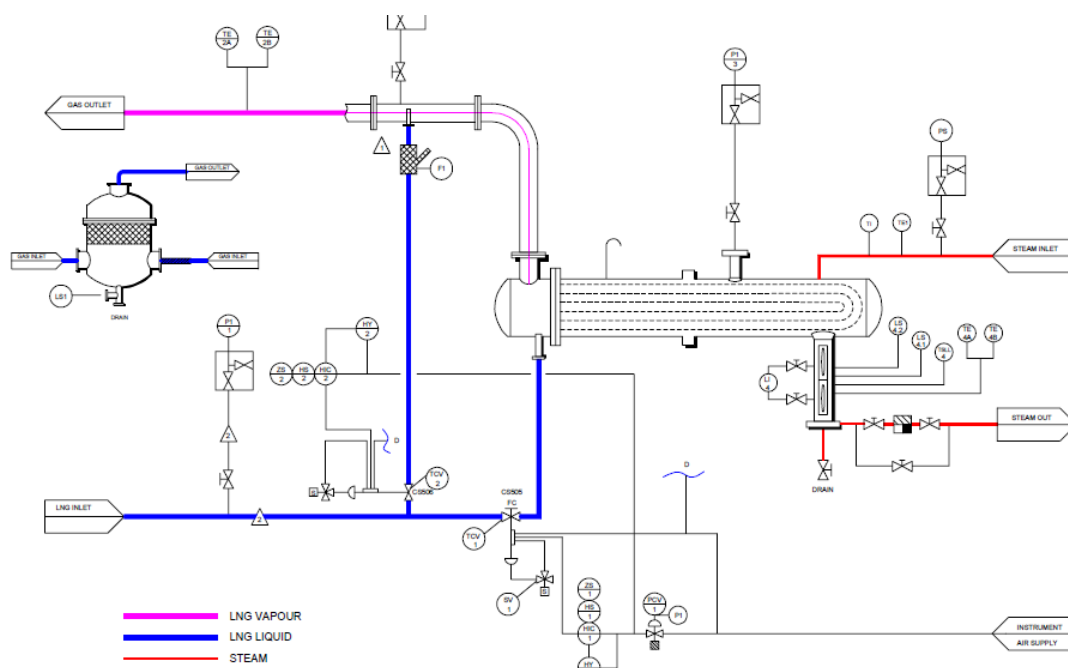
Medio de calentamiento: vapor saturado

Temperatura de entrada del vapor: 170° C

Caudal máximo de gas: 7,090 kg/h.

Temperatura de entrada de GNL: -163° C

Temperatura del gas de salida: -40° C



*Ilustración 19. Esquema de funcionamiento del Vaporizador Forzador. Fuente: Manual de Carga del buque Hispania Spirit.*

La temperatura del gas producido se ajusta rociando una cierta cantidad de líquido de la salida del vaporizador a través de una válvula de control de temperatura y unas boquillas de inyección de líquido. También se usa un re evaporador para evitar la acumulación de líquido no vaporizado en la descarga del vaporizador y que la salida esté a una temperatura estable. Antes de la llegada del vapor a los LD, se usa un separador de humedad para evitar que llegue líquido a éstos.

## **FUNCIONAMIENTO**

1. Abrir la válvula de ventilación.
2. Abrir la válvula de drenaje. Comprobar que las válvulas de drenaje están abiertas, SC303 y CD308.
3. Abrir la válvula de suministro manual de vapor SC304 (asegurándose de que el vapor a cubierta está disponible).



4. Cuando todo el aire es expulsado, cerrar la válvula de ventilación.

Después de unos 30 minutos, cuando las presiones y las temperaturas se han estabilizado en el vaporizador.

5. Abrir lentamente la válvula manual de entrada de vapor.
6. Abrir el suministro de aire a los controles del vaporizador.
7. En el control de carga, configurar los controles para el vaporizador forzado en el IAS.
8. Llenar el vaporizador con líquido usando el control manual, y comprobar las bridas y juntas para cualquier señal de fuga.
9. Cuando se produzca vapor, cambiar el control de la válvula de líquido a remoto y automático.

Al finalizar:

1. Cerrar la válvula de líquido CS504.
2. Cerrar la válvula de suministro de vapor SC304 cuando no quede GNL.
3. Abrir la ventilación de vapor y luego abrir el drenaje cuando todo el vapor haya sido ventilado.
4. Mantener la válvula de vapor abierta al sistema hasta que el vaporizador alcance la temperatura ambiente.

## 8. **CARGA**

Suponemos que todas las válvulas están cerradas antes de su uso y que se ha mantenido líquido durante el viaje en lastre en el tanque de carga número 4.

### 8.1 **ANTES DE LA LLEGADA A PUERTO**

Antes de la llegada a los puertos de carga, se debe hacer un enfriamiento previo en los tanques para evitar estar en puerto más de lo necesario.

Se tiene en cuenta que durante un viaje en lastre los tanques que no tienen GNL y las líneas han podido calentarse hasta una temperatura aproximada de -100° C.

#### **A. ENFRIAMIENTO DE TANQUES**

Se debe de comprobar el correcto funcionamiento del sistema de nitrógeno para mantener la presión y ayudar al enfriamiento de los tanques.

1. Abrir las válvulas de salida de los domos de vapor de los tanques a la línea principal de vapor: CG102, CG101, CG202, CG201, CG302, CG301, CG402 y CG401. El vapor de gas irá hacia los LD pasando por el condensador, para calentarse y ser enviado a las calderas.

Se debe de mantener el control de la presión de vapor mediante el envío de éste a las calderas como combustible, o en el caso de una emergencia, ventilando a la atmósfera a través del mástil de ventilación número 1, que está regulado en 15 Kpa.

2. Abrir las válvulas de la unión de la línea de achique con el sistema de rociado: CS105, CS205, CS305, CS405, CS001, CS002 y CS004.
3. Abrir la válvula de entrada del rociador al tanque número 4: CS406 y CS407.
4. Abrir las válvulas de entrada de rociado a los tanques 1, 2 y 3: CS107, CS207 y CS307.

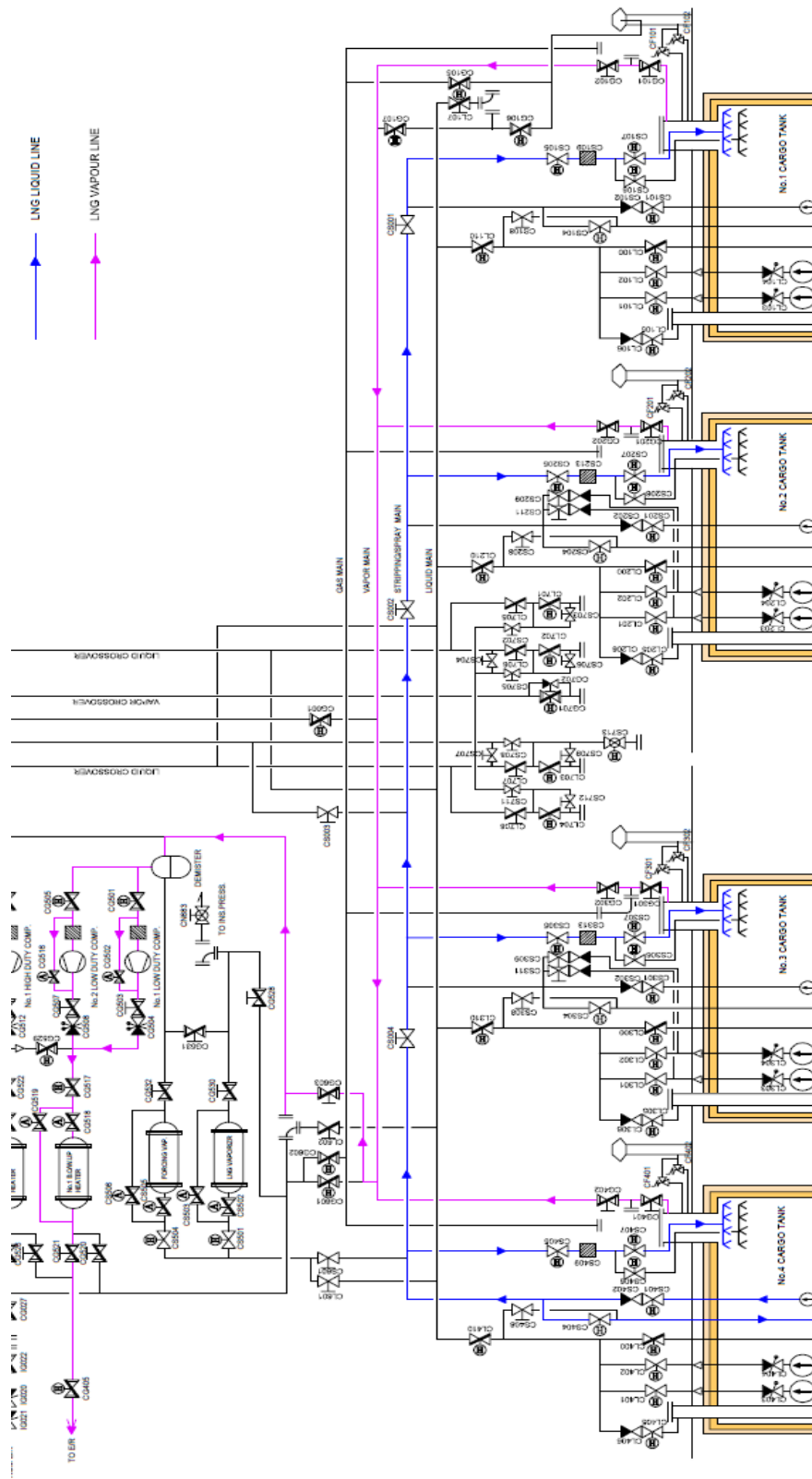


Ilustración 20. Esquema de enfriamiento de tanques. Fuente: Manual de Carga del buque Hispania Spirit.

5. Arrancar la bomba de achique del tanque número 4 y abrir la válvula de descarga CS401 para permitir un flujo mínimo y así enfriar la línea de achique.

La presión en la línea principal de achique debe ser controlada por la válvula de regulación CS404.

6. Una vez que se completa el enfriamiento de la línea de achique al tanque número 4, cerrar la válvula CS406 para permitir que el resto de la línea se enfríe. Mantener la válvula CS407 abierta.

El líquido irá entrando en los tanques a través de los rociadores en forma de spray, lo que al dispersarse el líquido producirá un enfriamiento del tanque.

7. Una vez que todas las líneas de achique y la parte del rociador estén fríos, se aumenta el flujo ajustando la válvula de descarga de la bomba de achique y el flujo a los tanques para mantener un enfriamiento uniforme y controlar la presión de vapor.
8. Cuando todos los tanques hayan alcanzado la temperatura requerida, - 160°C, abrir las válvulas CS104, CS204 y CS304 para el drenaje de la línea.
9. Dejar abiertas las válvulas de los rociadores para permitir que la línea se caliente a la temperatura ambiente antes de cerrarlas.

## **B. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA ROCIADOR DE AGUA**

El sistema rociador de agua está repartido por todo el barco en diferentes secciones:

- Acomodación.
- Domos de líquido y de vapor de los tanques.
- Sala de compresores y motores eléctricos.
- Ambos manifolds.
- Botes salvavidas.

Dos días antes de la llegada a puerto se debe de probar para verificar su correcto funcionamiento en caso de utilizarse por cualquier emergencia.

### **C. ALARMA DE LLENADO DE LOS TANQUES.**

Hay diferentes alarmas que deben de probarse antes de la llegada a puerto, para no tener problemas de llenado de los tanques.

- Alarma de nivel alto: Cuando el nivel de carga se aproxime al 98%. Se deberá cerrar la válvula de llenado correcta.
- Alarma de nivel muy alto: Sonará al 98,5% de su capacidad y la válvula de llenado correspondiente se cerrará automáticamente.
- Alarma de nivel de alto extremo: Funcionará al 99% de su capacidad e iniciará el sistema de apagado de emergencia.

Es importante tener en cuenta que las alarmas y los apagados extremos de muy alto nivel son dispositivos de emergencia y en ningún caso deben utilizarse como una operación normal.

### **D. FUNCIONAMIENTO DE ALARMA ESD**

Se debe de comprobar el funcionamiento del sistema ESD desde las diferentes zonas del barco: desde el puente, desde el control de la máquina, desde el control de carga, desde los tanques y desde el manifold.

## E. APERTURA Y CIERRE DE TODAS LAS VÁLVULAS QUE OPERARÁN DURANTE LAS OPERACIONES DE CARGA

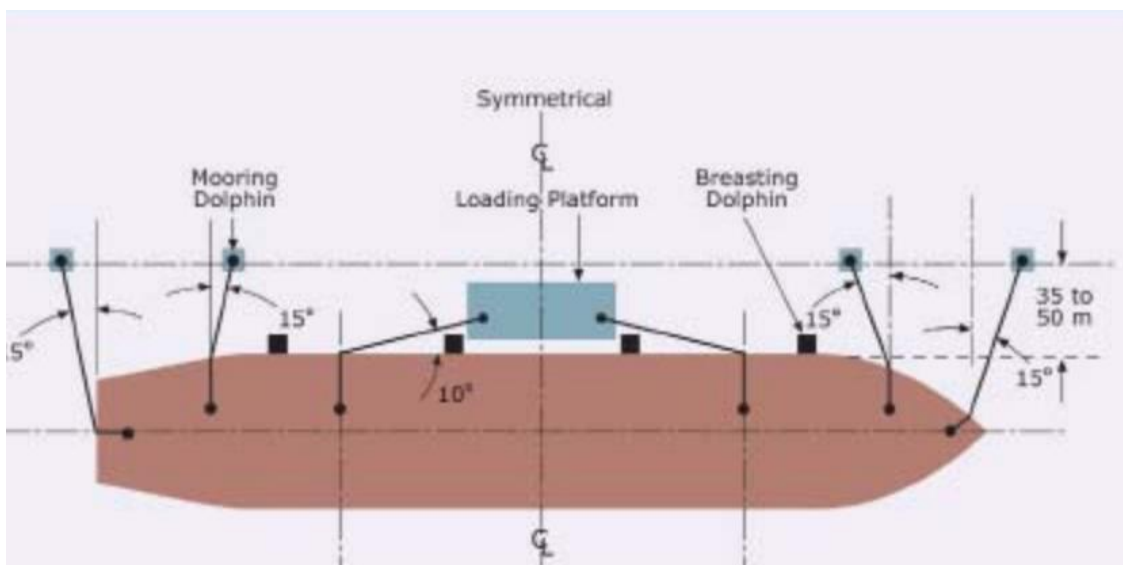
Se debe de comprobar el correcto funcionamiento de apertura y cierre de todas las válvulas que van a ser útiles durante las operaciones de carga en puerto, así como las del sistema de lastre, por si hubiera algún problema, intentar solucionarlo antes de la llegada.

### 8.2 EN PUERTO

Suponemos que la carga va a ser por el costado de babor del buque.

#### A. ATRAQUE

El atraque más común para los gaseros es el tipo 4-2-2-4. Consta de 4 traveses y 2 esprines en proa, y 2 esprines y 4 traveses en popa, aunque también puede ser 2 largos, 2 traveses y 2 esprines en proa y en popa, dependiendo de los requisitos de la terminal. (Shigeki Sakakibara, 2007).



*Ilustración 21. Esquema de amarre de cabos tipo 4-2-2-4. Fuente: OCIMF, Mooring Equipment Guidelines.*

- **Largos:** Son aquellos que salen de la proa o de la popa del barco. Se usan para mantener al buque pegado al atraque y así evitar los movimientos longitudinales del mismo. Son los últimos en colocar en las maniobras de atraque.
- **Traveses:** Trabajan perpendicularmente al plano longitudinal del buque. Se utilizan para dejar el barco pegado al amarre. Evitan el movimiento transversal del barco. Son los siguientes a posicionar después de los esprines.
- **Esprines:** Se colocan en diagonal. Son los primeros que se utilizan para poner el barco en posición. El esprín de proa trabaja hacia popa, y el esprín de popa trabaja hacia proa. (OCIMF, 2018)

## B. PREPARACIONES PARA LA CARGA

Suponiendo que se han realizado todas las pruebas mencionadas en el apartado anterior, todas las operaciones para la carga son controladas y realizadas desde el control de carga. Se realizarán teniendo en cuenta lo siguiente:

1. Los tanques de carga se llenan a una tasa uniforme y según las tablas de carga.
2. El asiento y la escora se controla mediante el deslastre.
3. Durante el ajuste de la carga, el barco debe de estar asentado 1 m por la popa.
4. Durante la carga, el barco puede ajustarse de acuerdo con el calado máximo de la terminal, para ayudar a vaciar los tanques de lastre.
5. La carga estructural y la estabilidad deben permanecer dentro de los límites de seguridad.

Precauciones de seguridad:

- a) Asegurarse de que la cortina de agua del casco esté en funcionamiento en el lado de babor.
- b) Preparar el equipo de lucha contra incendios, las mangueras de agua y la ropa de protección para su uso. En particular, los monitores de polvo seco deben estar

correctamente alineados y listos para un posible uso. Asegurarse de que el sistema de rociado de agua en el manifold está listo para funcionar.

- c) Preparar ambos compresores HD, puesto que el vapor de gas se devuelve a la terminal por medio de éstos. La presión en la línea principal de vapor se mantendrá ajustando el flujo del compresor.

El oficial responsable de la operación debe estar presente en el control de carga cuando se realizan las operaciones. (Saeid Mokhatab, 2013). Se necesita una vigilancia de la cubierta para la verificación de las operaciones y de cualquier procedimiento de emergencia que deba realizarse durante la operación. Se deben mantener las comunicaciones entre el control de carga del barco y la terminal.

En todo momento en el que el barco está en servicio con GNL y principalmente durante la carga, se requiere lo siguiente:

- El sistema de presurización de los espacios de aislamiento debe estar en funcionamiento con sus controles de presión automáticos.
- El sistema secundario de indicador de nivel debe estar listo para funcionar.
- El sistema de registro de la temperatura, las alarmas para las barreras de los tanques, el sistema de detección de gas y sus alarmas deben estar en funcionamiento continuo.

El mástil de ventilación número 1 debe de estar listo durante la operación de carga, para una ventilación automática.

Con ayuda de la terminal:

- Conectar y atornillar el cable de tierra de la terminal. Después debe de probarse su correcto funcionamiento.
- Probar el teléfono para la comunicación normal con la terminal.
- Antes de comenzar la conexión de los brazos de carga, debe de estar activada la cortina de agua bajo el manifold para proteger el costado del barco. Conectar los brazos de carga de la terminal con el personal de ésta.



- En la sala de control de carga, encender las alarmas y las paradas de nivel de carga que están bloqueadas durante el viaje por mar.
- Cambiar las alarmas de nivel independiente de bloqueo a normal en cada tanque y verificar que está realizado.

### **C. PRUEBA DE PRESIÓN CON NITRÓGENO EN LAS LÍNEAS**

Una vez conectados los brazos de la terminal con el manifold del barco, se debe de hacer una prueba de presión en las líneas para ver que no hay ninguna pérdida en las conexiones.

Consiste en recibir nitrógeno desde la terminal con una presión de aproximadamente 5 Bares, aprovechando a purgar la línea para eliminar todo el oxígeno posible que pueda haber en las líneas.



- Suponiendo que la descarga es el costado de babor, en el manifold abrir las válvulas de drenaje: CP817, CP818, CP813, CP814, CP805, CP806, CP801 y CP802. Purgar las conexiones y luego cerrar las válvulas.
- Para la conexión de vapor abrir las válvulas de drenaje CP811 y CP812. Purgar la conexión y luego cerrar las válvulas.

Si la terminal está de acuerdo:

- En la conexión de vapor, abrir la válvula ESD CG801.
- En las conexiones de líquido, abrir las válvulas ESD CL801, CL802, CL803 y CL804.
- Probar el sistema de apagado de emergencia (ESD) desde la terminal y desde en barco. Una vez realizado, volver a abrir las válvulas ESD de líquido y vapor.

Una vez presurizadas las conexiones, para comprobar que no hay fuga entre ellas, se rocían con un líquido especial jabonoso que en caso de fuga salen burbujas. Cuando se verifica que no existe fuga posible, se drena el nitrógeno por la línea de achique que va conectada a la línea de líquido del manifold.

#### **D. CTMS: SISTEMA DE TRANSFERENCIA DE CUSTODIA**

Los buques gaseros tienen instalados un sistema que calcula la cantidad de gas que tenemos en cada tanque. El uso de este sistema es comúnmente llamado Sistema de Transferencia de Custodia (Custody Transfer Management System, CTMS). Este sistema nos ayudará a calcular y determinar las cantidades de gas transferidas a la terminal durante una descarga y al buque durante una carga.

Este sistema procesa la información recibida desde los tanques, como puede ser la temperatura, la presión, volumen... en tiempo real, teniendo en cuenta correcciones aplicadas a los sensores y a las tablas del barco, pudiendo calcular con estos sensores y correcciones el volumen real antes, durante y después de la transferencia de gas en una

carga o descarga. Tomar medidas de los tanques de manera frecuente nos dará una información obtenida más precisa.

El sistema para su funcionamiento se compone principalmente de dos partes:

- a) El sistema de medición del nivel y volumen de los tanques, con sus temperaturas y presiones.
- b) Una estación de trabajo, generalmente localizado en el control de carga, para realizar los cálculos del volumen y generar los reportes necesarios al inicio, durante y final de la carga o descarga.

El sistema debe ser activado antes de empezar a enviar vapor de tierra en las operaciones de carga.

## **E. RETORNO DE VAPOR A TIERRA**

Para mantener una presión equilibrada en los tanques, durante las operaciones de carga el vapor de gas sobrante debe de ser enviado a tierra para evitar un exceso de presión en el tanque. (ICS, 2018) Para ello arrancamos uno o los dos HD que tenemos en la sala de compresores. Para ello:

1. Abrir las válvulas de salida de gas en los domos de vapor del tanque.

Tanque 1	CG101 CG102
Tanque 2	CG201 CG202
Tanque 3	CG301 CG302
Tanque 4	CG401 CG402

2. En los compresores HD, abrir las válvulas CG509, CG511, CG513, CG515.
3. Abrir la válvula de la línea principal de vapor a los compresores, CG603, y la válvula de descarga del compresor CG002. Arrancar uno o ambos compresores HD según lo necesario.

## **F. ESD CON LINEAS CALIENTES**

Se debe de realizar una prueba del sistema de cierre de válvulas y compresores antes de proceder al enfriamiento de las líneas, desde la terminal al barco, y desde el barco a la terminal.

## **G. ENFRIAMIENTO DE LAS LÍNEAS**

1. Abrir las válvulas CS001, CS002, CS003, CS004, CL410, CL310, CL210 y CL110 para permitir que el líquido se reparta uniformemente.
2. En cada domo de vapor, abrir las siguientes válvulas para permitir el suministro de GNL a los rociadores: CS105, CS106, CS107, CS205, CS206, CS207, CS305, CS306, CS307, CS405, CS406 y CS407.
3. Abrir la válvula de vapor del manifold: CG801.
4. Abrir las válvulas del manifold CL803 y CS808, que permitirán que el líquido entre en la línea principal de achique a través de la válvula de cruce CS003 para un enfriamiento adicional en los tanques.
5. Suponiendo que el brazo de carga de popa sea el primero en enfriarse, abrir las válvulas de llenado de líquido CL100 y CL400 para los tanques número 1 y 4.
6. Informar a la terminal de que el barco está listo para recibir GNL. Abrir la válvula de cierre rápido de GNL CL804 en el manifold en el brazo de líquido.

Informar de que comiencen a bombear a una velocidad lenta durante aproximadamente 15 minutos, con el fin de enfriar las líneas de la terminal y las del barco.

7. Abrir la válvula CL808.

Informar a la terminal para que aumente lentamente la velocidad de bombeo hasta que la línea principal de líquido y los rociadores se hayan enfriado.

Para evitar la que las secciones de la tubería se atasquen, la línea principal de líquido debe enfriarse y llenarse lo más rápido posible.

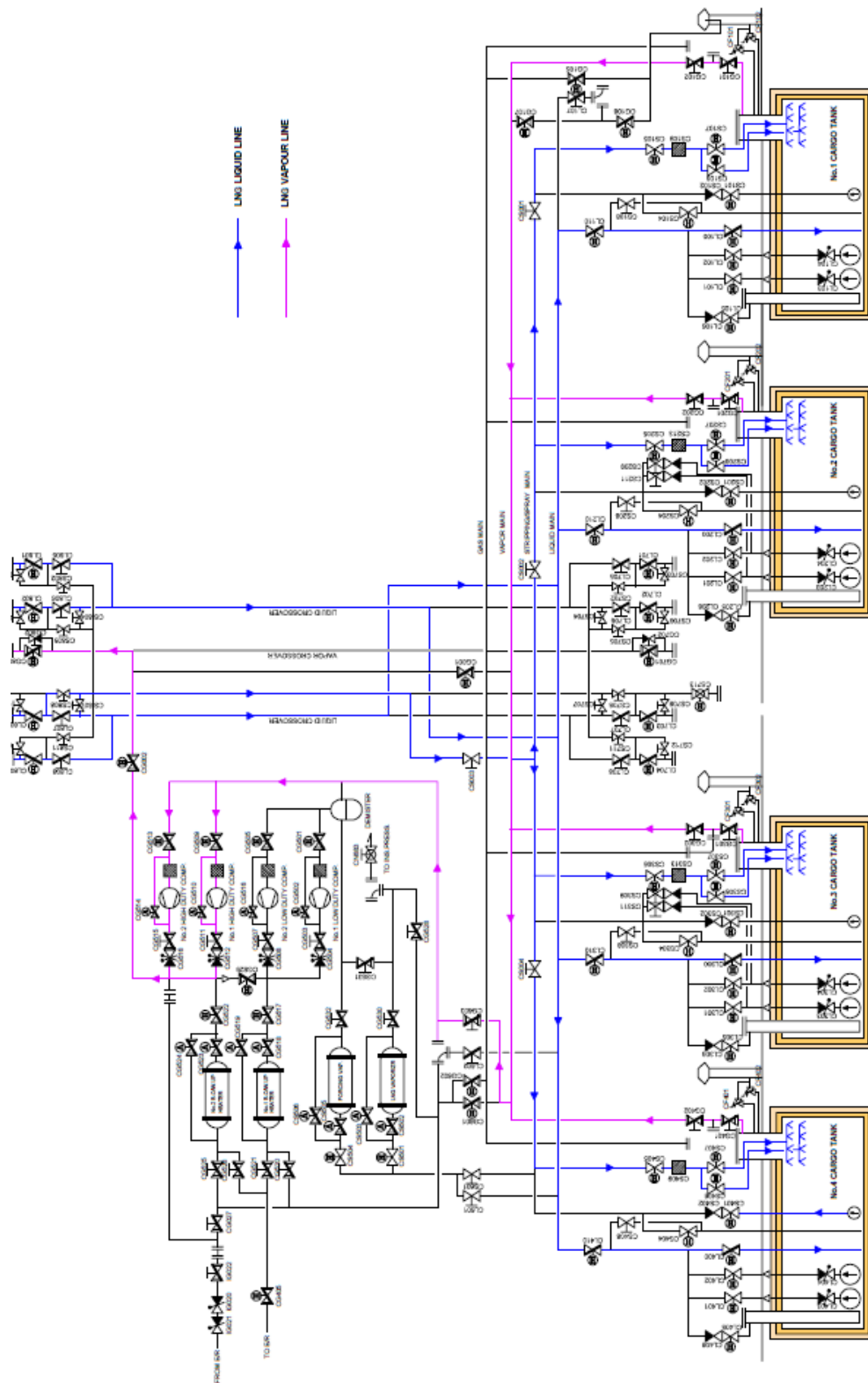


Ilustración 23. Esquema de enfriamiento de líneas a la llegada de la terminal. Fuente: Manual de Carga del buque Hispania Spirit.

8. Abrir completamente las válvulas de llenado de los tanques CL400, CL300, CL200, CL100.

Al finalizar el enfriamiento de los brazos y las líneas de carga:

9. Abrir las válvulas del manifold de los brazos de líquido CL807, CL806, CL805 y las válvulas de cierre rápido del manifold CL803, CL802 y CL801.
10. Informar a la terminal para aumentar la velocidad de carga a la capacidad máxima del barco.
11. Cerrar la válvula CS808.

En cada tanque, mantener abiertas las válvulas rociadores para evitar el exceso de presión debido al calentamiento de la línea.

12. Con el HD que habíamos arrancado anteriormente, se debe ajustar el flujo de vapor de gas para mantener la presión de vapor del tanque a 5.0 kPa.

## **H. ESD CON LÍNEAS FRÍAS**

Una vez enfriadas las líneas, se vuelve a repetir la prueba del sistema de cierre de válvulas y compresores desde la terminal al barco, y desde el barco a la terminal.

## **I. CARGAR ENVIANDO VAPOR A LA TERMINAL POR MEDIO DE LOS COMPRESORES HD.**

Una vez comprobado que todo está en correcto funcionamiento, se continúa con el proceso de carga.

Siguiendo el esquema de la ilustración anterior

- Abrir completamente la válvula de llenado de los tanques: CL400, CL300, CL200 y CL100.
- Aumentar la velocidad de carga.

- Iniciar el programa de deslastre, controlando las tensiones de los cabos durante la operación.
- Iniciar el calentamiento en los cofferdams a través del sistema de glicol, y dejarlo en funcionamiento automático.
- Monitorear las presiones del tanque para lograr una presión de aproximadamente 8.0 kPa.
- Ajustar la apertura de las válvulas de llenado de los tanques para mantener una distribución uniforme.
- Ir cerrando la válvula de llenado de cada tanque a medida que el tanque se acerca a su capacidad máxima.
- Antes de llenar el primer tanque, solicitar a la terminal la reducción de la carga para ir ajustando el llenado de los tanques. Cuando un tanque esté al nivel requerido, cerrar la válvula de carga correspondiente. Es conveniente terminar de cargar el tanque número 4 el último para facilitar una línea de drenaje.
- Detener la carga cuando el tanque final alcance una capacidad de acuerdo con la tabla de llenado.

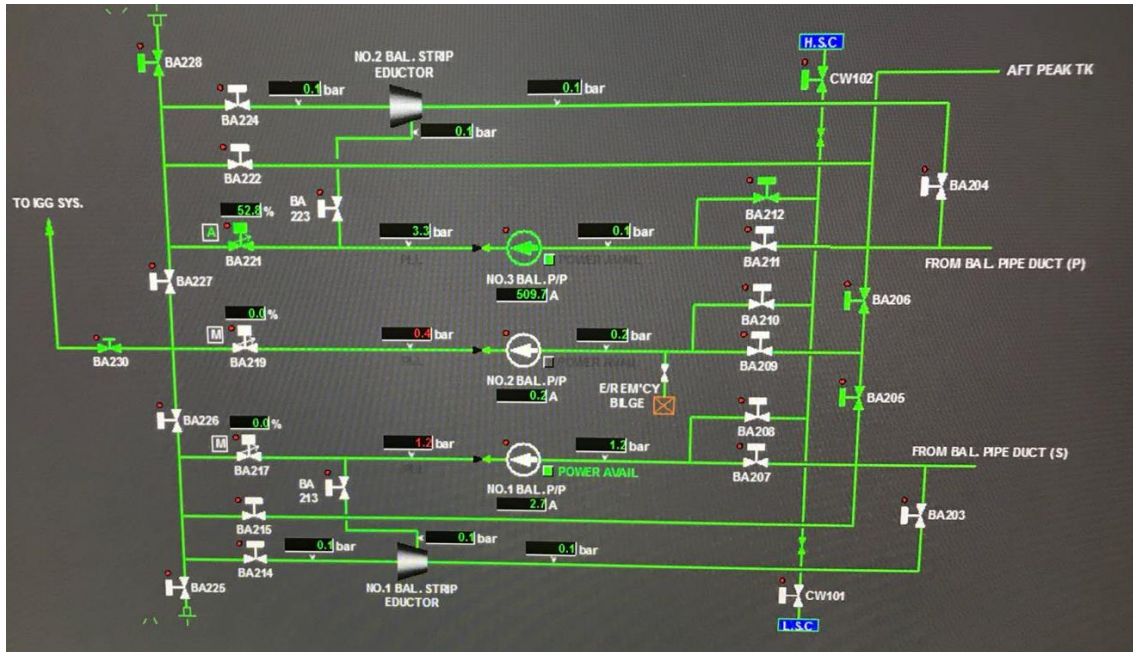
Cuando la terminal haya parado todas las bombas, dejar la válvula CL400 del tanque número 4 abierta para que el drenado de las líneas vaya a él.

En el control de carga:

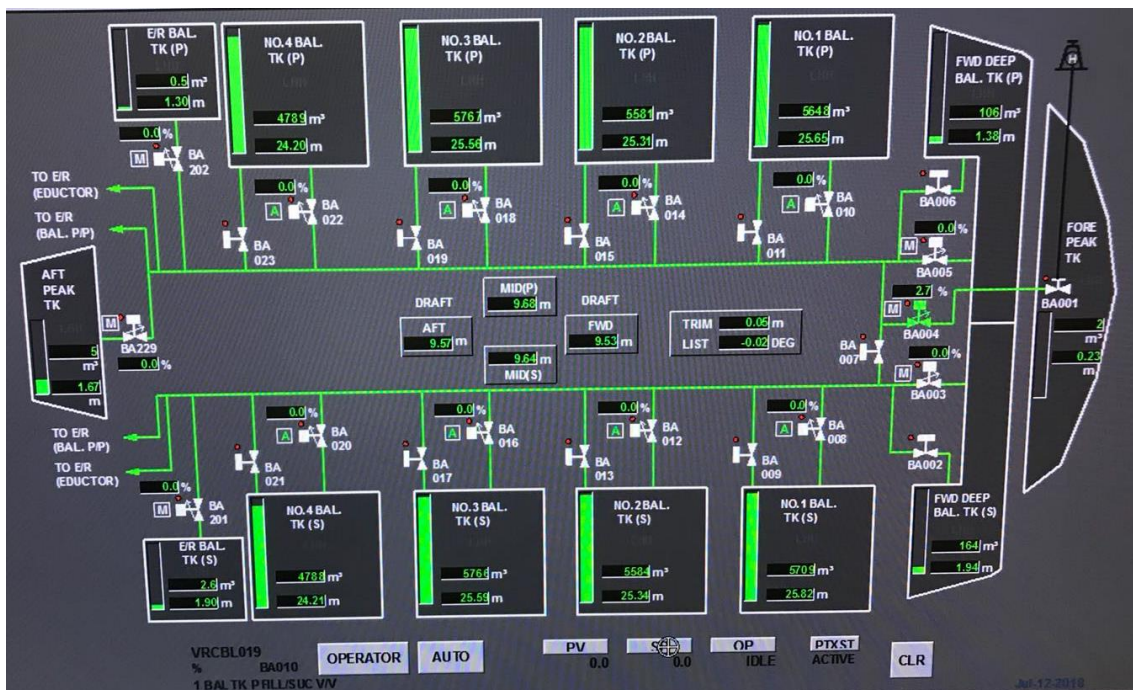
- Inhibir las alarmas de nivel del tanque antes de proceder al mar.
- Completar la operación de deslastre para obtener una quilla uniforme para la medición final. Cuando finalice la medición, ajustar los niveles de los tanques de lastre para las condiciones de navegación.
- Preparar el sistema para la quema de gas en el mar.



## J. DESLASTRE



*Ilustración 24. Esquema de lastre. Fuente: El autor, IAS del buque Hispania Spirit.*



*Ilustración 25. Esquema de tanques de lastre Fuente: El autor, IAS del buque Hispania Spirit.*

## **DESLASTRE POR GRAVEDAD**

Un mal funcionamiento en el sistema de lastre puede causar daños en las líneas. El daño generalmente es causado por un aumento de presión debido a cambios en los caudales.

Antes de empezar el deslastre, las líneas principales deben purgarse de las posibles bolsas de aire:

- Abrir las válvulas de la línea de descarga BA227, BA226, BA205, BA206, BA215 y BA222.
- Abrir la válvula de descarga al mar BA225 o BA228.
- Abra las válvulas de los tanques de lastre profundo delantero babor y estribor BA003, BA005, o el tanque número 1 de babor BA011 y estribor BA009, si los tanques de lastre delanteros no tienen suficiente caudal de agua por gravedad.

Cuando comience un flujo:

- Abrir las válvulas en los tanques a vaciar según el plan de deslastre.

Tanque profundo de babor	BA005
Tanque profundo de estribor	BA003
Tanque de lastre 1 babor	BA010
Tanque de lastre 1 estribor	BA008
Tanque de lastre 2 babor	BA014
Tanque de lastre 2 estribor	BA012
Tanque de lastre 3 babor	BA018
Tanque de lastre 3 estribor	BA016
Tanque de lastre 4 babor	BA022
Tanque de lastre 4 estribor	BA020

Tanque de lastre de máquina babor	BA202
Tanque de lastre de máquina estribor	BA201
Pique de Proa	BA001
Pique de Popa	BA229

Cuando el nivel medio de todos los tanques de lastre sea aproximado al nivel del calado del barco se arrancarán las bombas de lastre:

- Abrir las válvulas BA207, BA209 o BA211, según la bomba que se quiera utilizar.
- Cerrar las válvulas BA215 y BA222.
- Poner en marcha la bomba de lastre que se quiera utilizar, y seguido, abrir la válvula de descarga de la bomba 1 BA217, bomba 2 BA219 o bomba 3 BA221.
- Cuando se haya perdido la succión en todos los tanques, cerrar las válvulas de descarga de las bombas arrancadas y parar las bombas.
- Cerrar las válvulas de los tanques, las válvulas de la línea BA205, BA206, las válvulas de descarga BA226, BA227 y las válvulas de descarga por al mar BA225.

## **DESLASTRAR USANDO EL EDUCTOR**

El eductor se usa para cuando se quiere reachicar los tanques de lastre pero se ha perdido la succión de las bombas en los tanques debido al mínimo nivel que hay en ellos. Suponiendo que usamos la bomba de lastre de babor número 3 ya arrancada y el eductor número 2:

- Abrir la válvula de descarga de agua del impulsor de eductor, BA224 y BA228.
- Abrir el suministro de agua de la bomba de lastre del babor, BA223.
- Abra la válvula del primer tanque que se vaciará.

Tanque profundo de babor	BA006
Tanque profundo de estribor	BA002
Tanque de lastre 1 babor	BA011
Tanque de lastre 1 estribor	BA009
Tanque de lastre 2 babor	BA015
Tanque de lastre 2 estribor	BA013
Tanque de lastre 3 babor	BA019
Tanque de lastre 3 estribor	BA017
Tanque de lastre 4 babor	BA023
Tanque de lastre 4 estribor	BA021
Tanque de lastre de máquina babor	BA203
Tanque de lastre de máquina estribor	BA201
Pique de Proa	BA001
Pique de Popa	BA229

- Abrir la válvula de succión del eductor BA204.
- Cuando todos los tanques hayan sido vaciados: cerrar la válvula de succión del eductor BA204, las válvulas de accionamiento del eductor BA223 y la válvula de descarga al mar del eductor BA228 y BA224.

Si se usara el eductor de estribor al mismo tiempo se obtendría un mejor deslastre.

## **K. CIERRE DEL CTMS**

El sistema de transferencia de custodia, una vez entregada toda la carga, debe ser cerrado con la terminal.

## **L. PURGADO Y DESCONEXIÓN DE BRAZOS DE LÍQUIDO Y DE VAPOR**

Cuando la terminal esté lista para inyectar nitrógeno y la presión en el manifold es de 250 kPa:

- Cerrar las válvulas ESDs del manifold.

La purga de las líneas se realiza una a una:

- Abrir las válvulas de aireación del manifold CS803, CS806, CS809 y CS812.
- Cerrar la válvula de aireación cuando la presión en el manifold caiga a 0 kPa.

Repetir la operación varias veces en cada línea. En la última repetición, cerrar la válvula de aireación a aproximadamente unos 100 kPa, para eliminar el riesgo de que el líquido vuelva a fluir por la línea de líquido del barco al manifold.

Abrir la válvula de drenaje de las líneas para asegurarse de que no haya líquido y comprobar que la cantidad requerida de metano es menos del 1%. Cerrar las válvulas ESDs de la terminal.

Una vez finalizada la purga, proceder a la desconexión de las líneas de líquido.

Poco antes de la salida, para la conexión del brazo de vapor:

- Purgar la línea de vapor con nitrógeno de la terminal a una presión de 200 kPa. Cerrar la válvula CG801 y confirmar que el contenido de gas metano sea inferior al 1% en volumen en la válvula de drenaje.
- Desconectar la línea de vapor, preparando el sistema para la quema de gas en las calderas.

### **M. POST-MEETING CON LA TERMINAL**

Es la reunión en la que se reúnen el Primer Oficial de carga, el Supervisor de las operaciones (Surveyor), el Capitán de la carga (Loading Master) y el Capitán del barco para comprobar y certificar las cantidades entregadas, firmando los documentos pertinentes entre las partes interesadas como pueden ser los manifiestos de carga y la factura del traspaso de ésta de manera detallada (Bill of Lading). Una vez que está todo firmado queda el buque listo y despachado para el siguiente puerto.

### **N. DESATRAQUE**

Dependiendo de los cabos que hayamos dado a la terminal para mantener el barco en posición durante las operaciones, iremos largando los cabos de proa o popa hacia el centro del barco, con el objetivo de que los últimos en recoger sean los esprines puesto que son los que mantienen el barco en posición.

## **9. VIAJE DE CARGA**

### **9.1 CON QUEMADO DE GAS EN LAS CALDERAS**

Durante el viaje por mar, cuando los tanques contienen GNL, el gas de ebullición de los tanques se quema en las calderas del barco. Esta operación se controla por los oficiales responsables de la carga y por los oficiales de máquinas. Si por alguna razón no se pudiera usar el gas para quemar en las calderas o si el volumen es demasiado alto para que lo manejen éstas, cualquier exceso de vapor se ventila a la atmósfera a través del mástil de ventilación número 1.





El gas de ebullición de los tanques de carga ingresa a la línea principal de vapor a través de los domos de vapor de éstos. Se dirige a uno de los compresores LD, que bombean el gas al calentador. El gas caliente se entrega a las calderas a una temperatura de +25° C a través de la válvula de control, CG405. La velocidad del compresor y la posición de la paleta de admisión se rigen según la demanda de gas de las calderas y la presión del tanque. El sistema está diseñado para quemar todo el gas de ebullición producido por una carga completa y mantener las presiones y las temperaturas de los tanques a un nivel determinado.

Se debe seleccionar el control de combustión normal de la caldera, las presiones máximas y mínimas permitidas del tanque.

Para el funcionamiento normal, la válvula de ebullición normal se selecciona al 60% (la ebullición proporciona el 60% del combustible requerido para producir el 90% de la capacidad total de vapor de la caldera) y las presiones mínima y máxima del tanque se seleccionan a 105 y 109 kPa.

Si la válvula de ebullición normal se ha ajustado correctamente, las presiones del tanque permanecerán dentro de los valores seleccionados. Si el valor seleccionado es demasiado grande, la presión del tanque se reducirá lentamente hasta alcanzar el valor mínimo seleccionado, haciendo que el valor de ebullición normal se reduzca hasta que la presión del tanque vuelva a aumentar por encima del valor seleccionado. Pero, si el valor seleccionado es demasiado pequeño, la presión del tanque lentamente incrementará hasta alcanzar el valor máximo seleccionado, haciendo que el valor de ebullición normal se incremente hasta que la presión del tanque se reduzca nuevamente por debajo del valor seleccionado.

Si la presión del tanque continúa aumentando porque el consumo de vapor no es suficiente para quemar todo lo requerido, se abrirá el volcado de vapor.

El depósito de vapor está diseñado para abrirse cuando la válvula de ebullición normal está un 5% por encima del valor original seleccionado y cuando la presión del tanque ha alcanzado la presión de descarga seleccionada. Un aumento del 5% del proceso normal

de ebullición corresponde a un aumento de la presión del tanque de 4 kPa por encima de la presión máxima del tanque seleccionada.

El sistema de líneas de carga y de la quema de gas está dispuesto de modo que se pueda ventilar el exceso de ebullición en caso de que se produzca una parada involuntaria de la quema de gas en las calderas del barco. La válvula de control automático CG106 en el mástil de ventilación número 1 se establece en 23 kPa para ventilar el exceso de vapor a la atmósfera.

Si la presión de la línea principal de gas cae a menos de 4 kPa por encima de la presión del espacio de aislamiento primario, sonará una alarma.

En el caso de que el sistema de quema de gas se apague de forma automática o manual, o si la presión del tanque cae a 0.5 kPa por encima de la presión del espacio de aislamiento, la válvula CG405 se cerrará y la línea de suministro de quema de gas a la sala de máquinas se purgará con nitrógeno.

### **PROCEDIMIENTO**

Suponiendo que usamos el LD número 2 y el calentador número 1:

1. Preparar ambos compresores LD, los calentadores de gas y la planta de combustión de gas de la sala de máquinas para su uso.
2. Abrir la válvula de aislamiento de mástil de ventilación número 1 CG107 en la línea principal de vapor.
3. Verificar que las siguientes válvulas de los domos de vapor están abiertas:

Tanque 1	CG101, CG102
Tanque 2	CG201, CG202
Tanque 3	CG301, CG302
Tanque 4	CG401, CG402

4. Abrir las válvulas CG603, CG505 y CG507 para el suministro de vapor al compresor LD y calentador de gas a través del re evaporador.
5. En el calentador de gas número 1: Abrir las válvulas CG517 y CG521, entrada y salida del calentador. Abrir el suministro de vapor al calentador CG518.

En control de carga:

1. Ajustar el control de ajuste a 115 kPa en el mástil de ventilación número 1.
2. En los compresores de gas, ajustar la válvula de ebullición normal (IGV) al 60% para una condición cargada, con las presiones del tanque mínimas y máximas a 106 y 109 kPa respectivamente, y la presión de apertura del volcado de vapor a 113 kPa.

Cuando la sala de máquinas esté lista para iniciar la quema de gas, asegurarse de que haya suficiente nitrógeno para purgar las líneas a la caldera, es decir, más de 500 kPa en el tanque de reserva.

3. Asegurarse de que la temperatura de salida del gas del calentador sea aproximadamente +25° C. Abrir la válvula CG405 y arrancar el compresor LD.

Si el volumen de ebullición excede en la demanda a las calderas, el volcado de vapor debe ponerse en funcionamiento. En caso de que el sistema se apague por alguna razón, la válvula CG405 se cerrará automáticamente.

Causas de posibles fallos:

- Fallo en el control de las calderas o en alguna caldera.
- Contenido alto de gas.
- Baja temperatura del gas.
- Activación de ESD.
- Parada en el conducto de ventilación de escape.
- Posible incendio en la sala de máquinas.

Si se detiene la quema de gas a las calderas por cualquier motivo, se debe detener el compresor LD y el calentador. Se cierra el suministro de gas de la válvula CG405 a la sala de máquinas y se ajusta el control del mástil de ventilación CG106 a 110 kPa.

## **9.2 USANDO EL VAPORIZADOR FORZADO**

Si durante un viaje en carga se requiere que se queme gas combustible adicional de los tanques en las calderas del barco, se puede hacer mediante vaporización forzada utilizando el Vaporizador Forzado teniendo en cuenta la economía de la quema de gas en comparación con la quema de fuel oil. A esto se le llama quema forzada del gas, para así complementar el quemado de gas al 100% de los requisitos del combustible de la caldera.

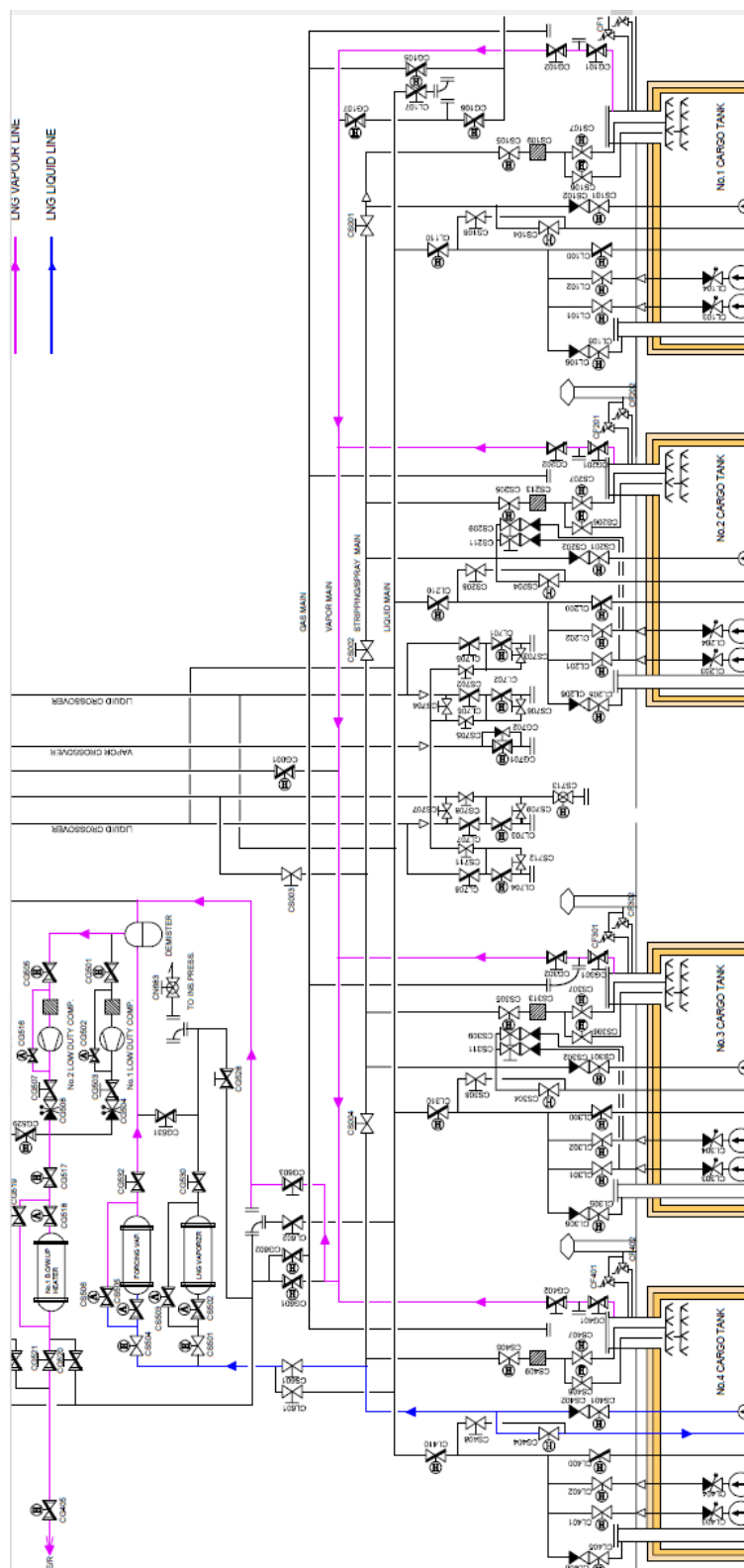


Ilustración 27. Esquema de alineamiento para el uso del Vaporizador Forzado. Fuente: Manual de Carga del buque Hispania Spirit.

Suponiendo que usamos la bomba de achique del tanque número 4 para bombear GNL al Vaporizador Forzado. El exceso de flujo de la bomba se devuelve al tanque a través de la válvula de control de presión CS404.

Después de la vaporización, el vapor de GNL producido pasa a través del re evaporador, donde se elimina la posibilidad de arrastre de GN líquido. Seguido, éste gas producido se combina con el gas de ebullición natural de la línea principal de vapor antes de ser aspirado hacia la succión de los compresores LD.

El flujo de gas a través de los compresores LD se controla a través de la unidad de control de combustión de la caldera ajustando la apertura de las paletas guía de entrada y la velocidad del motor:

- Baja carga: control de las paletas de guía de entrada:  $-30^{\circ}$  a  $+80^{\circ}$  C.
- Carga alta: control de velocidad del motor: 30-60 Hz.

El control de combustión de la caldera se debe cambiar al modo quema forzada (FBO: Forced Boil-off).

La cantidad de gas forzado que debe producirse se controla mediante la regulación de la válvula de control del flujo al vaporizador forzado que opera el control de combustión de la caldera.

Cuando se cambia al 100% de la combustión de gas, el suministro de fuel oil a los mecheros se corta y el sistema de éste se pondrá en recirculación. Los bucles de control de combustión de fuel oil se mantienen en funcionamiento para permitir que los mecheros se enciendan en una emergencia. Así mismo, en el caso de que el sistema de quema de gas se apague de forma automática o manual, o si la presión del tanque cae a 0.1 kPa por encima de la presión de los espacios de aislamiento, la válvula CG405 se cerrará y la línea de suministro de gas a la sala de máquinas se purgará con nitrógeno. Los dispositivos de refuerzo de fuel oil están incorporados en el circuito de control para permitir un cambio rápido.

## **OPERACIÓN**

El sistema de líneas está dispuesto para la combustión normal de gas durante la carga, según la ilustración 27. Esquema de alineamiento para el uso del Vaporizador Forzado. .

1. Preparar el vaporizador forzado para su uso.
2. Abrir el suministro de la línea de achique al vaporizador forzado CS601.
3. Abrir la válvula de descarga de la bomba de achique CS401, suponiendo que usamos la del tanque número 4. Arrancar la bomba y ajustar el flujo de retorno al tanque a través de la válvula de control de presión CS404.
4. Poner en marcha el vaporizador forzado.
5. Ajustar el control de combustión de la caldera en modo FBO.
6. Poner en marcha el compresor LD número 1 en función de la demanda de gas requerida por las calderas.
7. Establecer el control del suministro de líquido al vaporizador forzado y el control del compresor LD al modo automático.

## **10. DESCARGA**

Suponemos que usamos el costado de babor para las operaciones. Durante la descarga normal, solo se utilizarán las bombas de descarga principales, que descargan el GNL a la línea principal de líquido y luego a la terminal a través de las conexiones de líquido del manifold. Una cantidad de carga, según la duración del siguiente viaje en lastre, se retendrá a bordo para el mantenimiento en frío de los tanques de carga.

Después de un envío de flujo inicial, la presión en los tanques disminuye. Por tanto, durante la descarga se suministra vapor de gas del GNL desde la terminal para mantener la presión en los tanques de carga. Si este suministro de vapor de gas desde la terminal es insuficiente para mantener la presión del tanque constante, deben utilizarse otros medios para suministrar así más vapor, ya sea mediante el uso de los sprays del tanque o el LNG Vaporizer.

El calentador de gas debe prepararse y alinearse para su uso, y así evitar la ventilación de vapor de GNL frío a través del mástil de ventilación número 1. Se debe tener en cuenta que algunas terminales no permiten la ventilación de vapor de gas a la atmósfera.

El lastre se lleva a cabo simultáneamente con la descarga. La operación de lastre sirve para mantener el barco dentro del límite requerido de asiento, escora, tensión del casco y estabilidad, siguiendo las indicaciones del ordenador de carga. Es necesario mantener el barco con una quilla uniforme.

Cada tanque se descarga hasta un nivel aproximado de 0,37 m. La cantidad retenida en los tanques varía según la duración del viaje en lastre, el tiempo transcurrido esperado antes de la carga y el volumen de vapor de gas que se estima que será quemado en las calderas.

Las bombas se detienen a un nivel aproximado de 1,0 m para evitar movimientos excesivos en el fondo del tanque que pueden crear perturbaciones en la succión de éstas.

## **10.1      ANTES DE LA LLEGADA A PUERTO**

Antes de la llegada al puerto de descarga, la mayoría de terminales tienen como requisito que se llegue con las líneas de nuestro barco frías para así ahorrar tiempo.

Durante un viaje en carga, la única línea que ha permanecido enfriada constantemente ha sido la línea de vapor para el envío de gas a las calderas. El resto de líneas han podido calentarse hasta -100°C.

### **A. ENFRIAMIENTO DE LÍNEAS**

El enfriamiento de líneas se hace hasta una temperatura aproximada de -130°C.



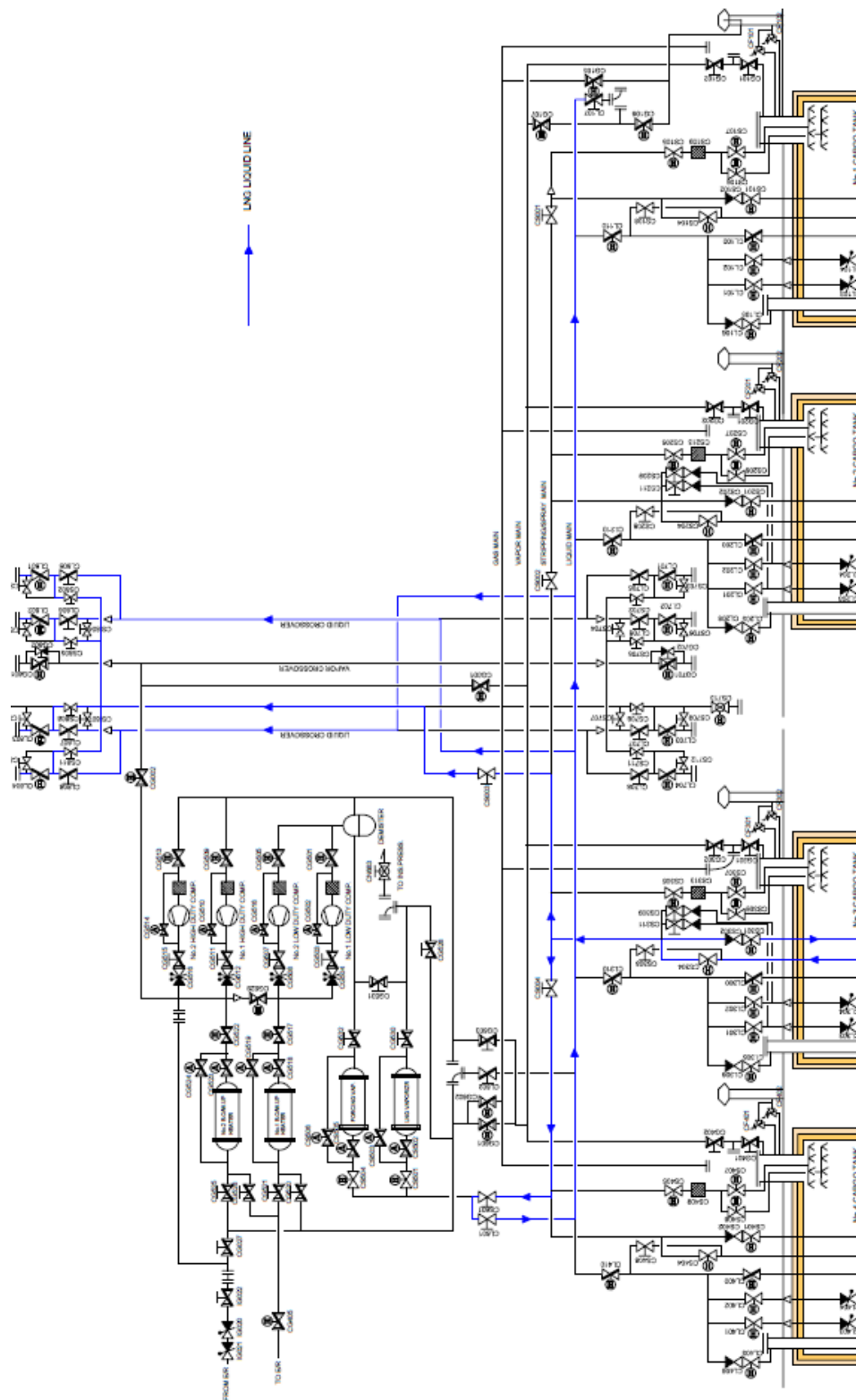


Ilustración 28. Esquema de enfriamiento de líneas. Fuente: Manual de Carga del buque Hispania Spirit.

Suponiendo que vamos a usar la bomba de achique del tanque número 3.

- Abrir la válvula de descarga CS301 de la bomba de achique 3 al 30%.
- Abrir las válvulas CS003, CS004, CS802, CS805, CS808 y CS811.
- Poner en marcha la bomba de achique.
- Cuando los brazos de nuestro manifold se hayan enfriado a  $-100^{\circ}\text{C}$ , abrir las válvulas CS601, CL601, CL805, CL806, CL807 y CL808, para así enfriar la línea principal de líquido.

Cuando todas las líneas hayan conseguido la temperatura requerida:

- Detener la bomba de achique. Cerrar las válvulas CS601, CL601, CS802, CS805, CS808 y CS811, y abrir la válvula CS304 para drenar la línea de regreso al tanque número 3.
- Cuando la línea de achique se haya calentado, cerrar las válvulas CS003, CS004 y CS304.

## **B. PRUEBAS ANTES DE LA LLEGADA**

Como se citó en el apartado 8.1. ANTES DE LA LLEGADA A PUERTO, exceptuando el enfriamiento de tanques puesto que los tanques contienen GNL y ya están fríos, se vuelven a repetir todas las pruebas mencionadas:

- Funcionamiento del sistema rociador de agua.
- Alarma de llenado de los tanques.
- Alarma ESD.
- Apertura y cierre de todas las válvulas que operarán durante las operaciones de descarga

## **10.2      EN PUERTO**

### **A. ATRAQUE**

En el apartado 8.2.A. ATRAQUE está descrita la maniobra más frecuente entre los buques gaseros, dependiendo de los requisitos exigidos por la terminal.

Los primeros cabos en dar para posicionar y colocar el buque son los esprines, seguidos los traveses y por último los largos.

### **B. PREPARACIONES PARA LA DESCARGA**

Suponiendo que se han realizado todas las pruebas mencionadas en el apartado anterior, todas las operaciones para la descarga son controladas y realizadas desde el control de carga. Se realizarán teniendo en cuenta lo siguiente:

1. Los tanques de carga se vacían a una tasa uniforme y según las tablas de descarga.
2. El asiento y la escora se controla mediante el lastre.
3. Durante la carga, el barco puede ajustarse de acuerdo con el calado mínimo de la terminal, para ayudar a llenar los tanques de lastre.
4. La carga estructural y la estabilidad deben permanecer dentro de los límites de seguridad.

Precauciones de seguridad:

Asegurarse de que la cortina de agua del casco esté en funcionamiento en el lado de babor. Preparar el equipo de lucha contra incendios, las mangueras de agua y la ropa de protección criogénica para su uso. En particular, los monitores de polvo seco deben estar correctamente alineados y listos para un posible uso. Asegurarse de que el sistema de rociado de agua en el manifold está listo para funcionar.

El oficial responsable de la operación debe estar presente en el control de carga cuando se realizan las operaciones. Se necesita una vigilancia de la cubierta para la verificación de

las operaciones y de cualquier procedimiento de emergencia que deba realizarse durante la operación. Se deben mantener las comunicaciones entre el control de carga del barco y la terminal.

En todo momento en el que el barco está en servicio con GNL y principalmente durante la descarga, se requiere lo siguiente:

- El sistema de presurización de los espacios de aislamiento debe estar en funcionamiento con sus controles de presión automáticos.
- El sistema secundario de indicador de nivel debe estar listo para funcionar.
- El sistema de registro de la temperatura, las alarmas para las barreras de los tanques, el sistema de detección de gas y sus alarmas deben estar en funcionamiento continuo.

El mástil de ventilación número 1 debe de estar listo durante la operación de carga, para una ventilación automática.

Con ayuda de la terminal:

- Conectar y atornillar el cable de tierra de la terminal.
- Probar el teléfono para la comunicación normal con la terminal.
- Antes de comenzar la conexión de los brazos de carga, debe de estar activada la cortina de agua bajo el manifold para proteger el costado del barco.
- En la sala de control de carga, encender las alarmas y las paradas de nivel de descarga.

### **C. PRUEBA DE PRESIÓN CON NITRÓGENO EN LAS LÍNEAS**

Una vez conectados los brazos de la terminal junto con los del barco, procedemos a la prueba de presión y drenado de las líneas con nitrógeno procedente de la terminal explicado anteriormente en el apartado 8.2.C. PRUEBA DE PRESIÓN CON NITRÓGENO EN LAS LÍNEAS.

### **D. APERTURA DEL CTMS**

Como se mencionó anteriormente en el apartado 8. 2. D. CTS: CUSTODY TRANSFER SYSTEM, el sistema debe de activado antes de recibir vapor de la terminal.

### **E. COMIENZO DE RECIBIR VAPOR DE LA TERMINAL**

Durante la descarga enviamos GNL a la terminal, lo que hace una disminución de la presión en el tanque. Para evitar que la presión del tanque disminuya, tenemos dos opciones:

- Recibir vapor procedente de la terminal, con lo que abriríamos la válvula CG001.
- Crear vapor a partir del Vaporizador de GNL.

Las válvulas de los domos de vapor de los tanques: CG101, CG102, CG201, CG202, CG301, CG302, CG401 y CG402 deben de estar abiertas para la correcta entrada del vapor de gas.

### **F. ESD CON LÍNEAS CALIENTES.**

Se debe de realizar una prueba del sistema de cierre de válvulas y compresores antes de proceder al enfriamiento de las líneas, desde la terminal al barco, y desde el barco a la terminal.

## **G. REENFRIAMIENTO DE LÍNEAS**

Según la ilustración 28: Esquema de enfriamiento de líneas, y suponiendo que usamos la bomba de achique del tanque número 3, procedemos al enfriamiento tanto de las líneas del barco como las de la terminal.

- Abrir la válvula de descarga CS301 de la bomba de achique del tanque número 3 al 30%.
- Abrir las válvulas CS003, CS004, CS802, CS805, CS808 y CS811.
- Poner en marcha la bomba de achique.
- Cuando los brazos de conexión de tierra y del barco se hayan enfriado a  $-100^{\circ}\text{C}$ , abrir las válvulas CS601, CL601, CL805, CL806, CL807 y CL808, para así enfriar la línea principal de líquido.

Cuando la temperatura de las líneas alcance los  $-100^{\circ}\text{C}$ , y comprobemos visualmente que las válvulas están congeladas:

- Detener la bomba de achique. Cerrar las válvulas CS601, CL601, CS802, CS805, CS806 y CS811 y abrir las válvulas CS304 para drenar la línea de regreso al tanque número 3.
- Cuando la línea de rociado se haya calentado, cerrar las válvulas CS003, CS004 y CS304.

## **H. ESD CON LÍNEAS FRÍAS.**

Una vez enfriadas las líneas, se vuelve a repetir la prueba del sistema de cierre de válvulas y compresores desde la terminal al barco, y desde el barco a la terminal.

## **I. DESCARGA CON RETORNO DE GAS PROCEDENTE DE LA TERMINAL**

Llegados a este punto, debemos asegurarnos de que la válvula CG001 está abierta junto con las válvulas de los domos de vapor, abiertas anteriormente tras la apertura del CTS.

Antes de poner en marcha las bombas de descarga en los tanques número 2 y 3, que serán los primeros desde los cuales comenzará la operación, es necesario llenar las columnas de descarga con GNL hasta las válvulas CL310 y CL210 para evitar un aumento de presión en las líneas.

Comenzando con el tanque número 3, para un mayor enfriamiento de la línea de descarga:

- Abrir la válvula de descarga de la bomba de achique del tanque número 3, CS301, al 30%.
- Abrir las válvulas de ventilación de la bomba: CS308 y CS309.
- Abrir las válvulas de descarga de la bomba del tanque número 3 CL301 y CL302 entre un 25 y un 30%.
- Poner en marcha la bomba de achique. Detenerla cuando la línea de líquido en la parte superior del tanque esté llena.
- Cerrar las válvulas de la línea de rociado CS301, CS308.

Comienza la descarga.

- Abrir la válvula de líquido del tanque número 3: CL310.

Informar a la sala de control de la máquina que una bomba de descarga va a ser arrancada.

- Poner en marcha una de las bombas del tanque número 3.
- Una vez verificado que no hay fugas en las líneas, abrir completamente la válvula de descarga de la bomba durante el funcionamiento de ésta.





Cuando la terminal esté lista para recibir más carga, repetir el proceso con los demás tanques y bombas.

La secuencia más aconsejable del arranque de las bombas de descarga para poder obtener una operación de descarga estable es la siguiente: Tanque número 3, tanque número 2, tanque número 4 y tanque número 1.

Durante el tiempo de descarga:

- Controlar la presión de los tanques.
- Solicitar el retorno de vapor de gas de tierra y controlar la presión para confirmar su estabilidad.
- Supervisar las líneas y las válvulas en busca de fugas.
- Ajustar las válvulas de descarga de las bombas para obtener un rendimiento óptimo según lo indicado por las corrientes, las presiones de descarga y los gráficos de las bombas.
- Es importante mantener los tanques a una presión de al menos 10 kPa para evitar la cavitación y tener una buena succión en las bombas. Si la presión del tanque cae a unos 6 kPa, solicitar a la terminal que incremente el flujo del retorno de gas. Si, por alguna razón, la terminal no puede suministrar más retorno de gas, deberá de ponerse en marcha el vaporizado de GNL para restablecer la presión de los tanques.
- Iniciar las operaciones de lastre, mientras se mantienen los esfuerzos del casco dentro de los límites permisibles mediante el control de los distintos niveles de los tanques de lastre.

Detener las bombas de descarga del tanque número 4 cuando el nivel de líquido esté aproximadamente a 1.1 m, y en los demás tanques cuando esté a 0.3 m, si el líquido para usar como combustible durante el viaje en lastre se almacena en el tanque de carga número 4.

Antes de detener las bombas acelerar la válvula de descarga de éstas al 40% antes de detenerlas.

## **J. DESCARGA USANDO EL VAPORIZADOR DE GNL**

Si la terminal no nos suministrara vapor de gas durante la descarga para mantener la presión de los tanques, debemos de poner en funcionamiento el Vaporizador de GNL.

Suponiendo que el suministro al vaporizador de GNL lo hagamos con la bomba de achique del tanque número 4:

- Abrir las válvulas de entrada del vaporizador de GNL: CS501 y CS502, y la de salida CG530.
- Abrir la válvula CG528 y CG601 para que el vapor de gas vaya a la línea principal de gas.

Poner en funcionamiento el vaporizador de GNL.

- Abrir la válvula de descarga de la bomba de achique CS401.
- Abrir la válvula CS601 para que el líquido fluya hacia el vaporizador de GNL.

Arrancar la bomba de achique.

El vapor de gas irá entrando por los domos de vapor de los tanques.

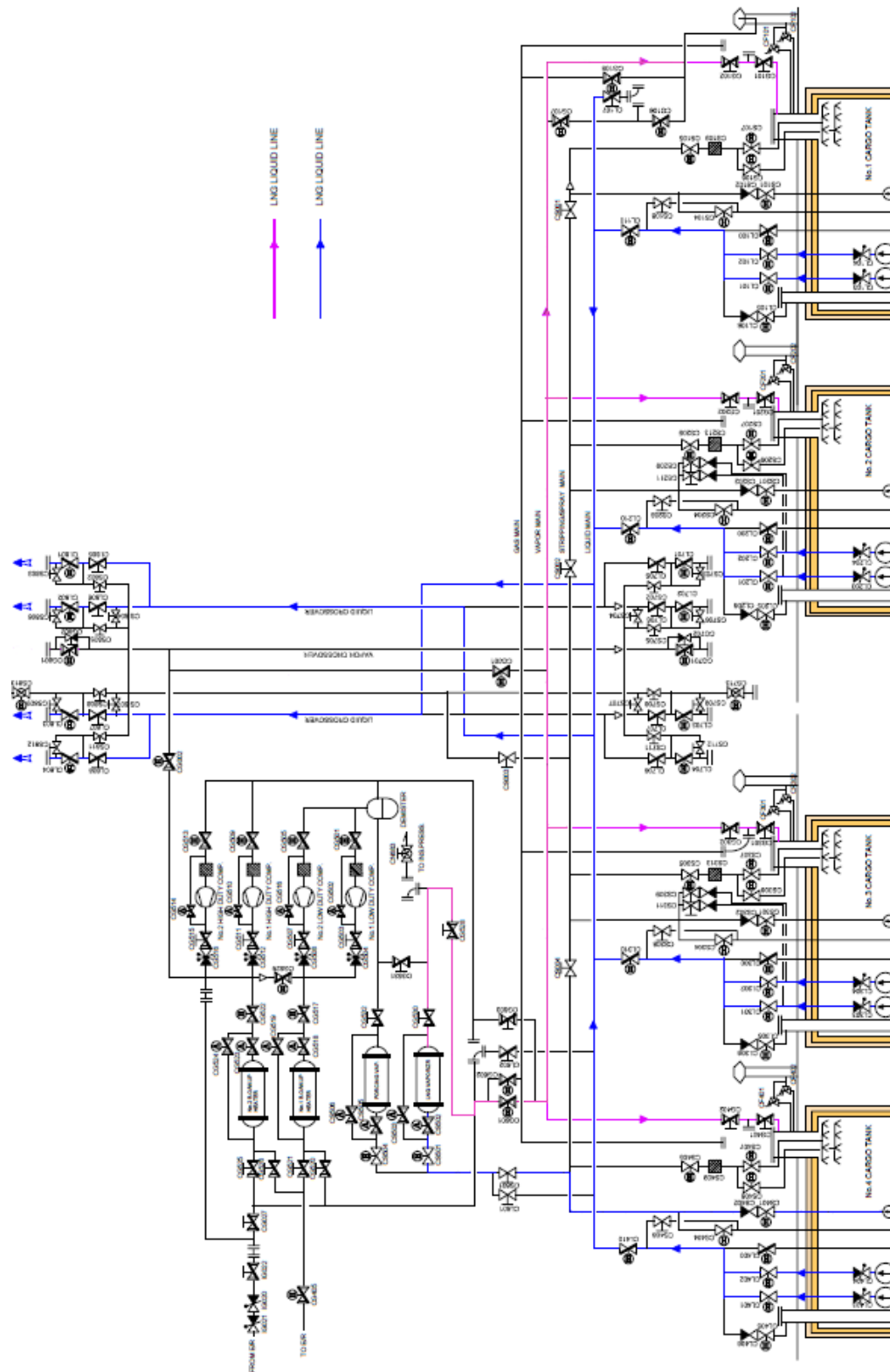


Ilustración 30. Esquema de alineamiento para el uso del vaporizador de GNL. Fuente: Manual de Carga del buque Hispania Spirit.

## **K. LASTRE**

El funcionamiento incorrecto del sistema de lastre causará daños en las líneas. El daño normalmente es causado por un aumento de presión debido a cambios repentinos en el flujo y por la presencia de bolsas de aire, que se eliminan expulsando el lastre en el tanque de lastre número 1. Se deben ajustar los caudales de manera suave y progresiva. Es importante no comprimir el aire en el sistema, abriendo la válvula de admisión de agua en último lugar.

### **LASTRE POR GRAVEDAD**

Según las ilustraciones 24 y 25 del apartado 8. 2. J. DESLASTRE.

Es importante tener en cuenta que cuando un tanque alcance el nivel requerido, se abrirá la válvula del siguiente tanque antes de cerrar la válvula del tanque que está lleno.

- Abrir las válvulas de entrada de agua de mar CW101 y CW102.
- Abrir las válvulas BA003 y BA005 en los tanques de lastre profundo.
- Abrir las válvulas principales de lastre BA208, BA212.
- Abrir la válvula de llenado por gravedad del mar BA207 y BA211. Cuando se ha establecido un flujo a los tanques de lastre profundo, las válvulas BA003 y BA005 se pueden cerrar.

Abrir las válvulas de los tanques a llenar según el plan de lastre:

Tanque profundo de babor	BA005
Tanque profundo de estribor	BA003
Tanque de lastre 1 babor	BA010
Tanque de lastre 1 estribor	BA008
Tanque de lastre 2 babor	BA014

tanque de lastre 2 estribor	BA012
Tanque de lastre 3 babor	BA018
Tanque de lastre 3 estribor	BA016
Tanque de lastre 4 babor	BA022
Tanque de lastre 4 estribor	BA020
Tanque de lastre de máquina babor	BA202
Tanque de lastre de máquina estribor	BA201
Pique de proa	BA004
Pique de popa	BA229

- Cuando todos los tanques tengan una sonda aproximada al nivel del mar (calado del buque), cerrar las válvulas de los tanques, las válvulas principales de lastre y las válvulas de llenado por gravedad: BA208, BA207, BA212 y BA211.

La velocidad de flujo cuando se llena por gravedad disminuirá a medida que se acerca el nivel del mar. Entonces, los tanques deberán llenarse con ayuda de las bombas de lastre.

### **LASTRE POR BOMBA**

Suponiendo que usamos la bomba de lastre número 1:

- Abrir las entradas de agua de mar CW102 y CW101.
- Abrir las válvulas de los tanques a llenar como lo requiere el plan.

Tanque profundo de babor	BA005
Tanque profundo de estribor	BA003
Tanque de lastre 1 babor	BA010
Tanque de lastre 1 estribor	BA008
Tanque de lastre 2 babor	BA014
tanque de lastre 2 estribor	BA012
Tanque de lastre 3 babor	BA018
Tanque de lastre 3 estribor	BA016
Tanque de lastre 4 babor	BA022
Tanque de lastre 4 estribor	BA020
Tanque de lastre de máquina babor	BA202
Tanque de lastre de máquina estribor	BA201
Pique de proa	BA004
Pique de popa	BA229

- Abrir las válvulas de agua de mar BA215, BA205, y BA206.
- Abra las válvulas de entrada de agua de mar a la bomba número 1: BA208.
- Poner en marcha la bomba de lastre de estribor número 1.
- Abrir la válvula de descarga de la bomba: BA217.

- Cuando todos los tanques estén cerca del nivel requerido, reducir el caudal progresivamente descargando al mar a través de la válvula de descarga por la borda BA225.

Cuando los tanques alcancen los niveles requeridos:

- Cerrar la válvula de descarga de la bomba BA217 y parar la bomba.
- Cerrar todas las demás válvulas.

Si quisiéramos usar otra bomba, se seguirían los mismos pasos con las válvulas correspondientes a cada bomba.

#### **L. CIERRE DEL CTMS**

Cuando finalizan todas las operaciones y todas las bombas están paradas debemos de cerrar el sistema de transferencia de custodia.

#### **M. PURGADO Y DESCONEXIÓN DE BRAZOS DE LÍQUIDO Y VAPOR**

Una vez terminadas las operaciones de descarga y con todas las bombas apagadas, antes de proceder a la desconexión de los brazos de líquido y de vapor, debemos de asegurarnos que no existe contenido de metano ni de oxígeno en los brazos del manifold. Para ello seguiremos el procedimiento explicado anteriormente en el apartado 8.2. L. PURGADO Y DESCONEXIÓN DE BRAZOS DE LÍQUIDO Y VAPOR.

#### **N. POST-MEETING CON LA TERMINAL**

Una vez finalizadas las operaciones, el Primer Oficial de carga, el Surveyor, el Loading Master y el Capitán del barco se reúnen para entregar y firmar los documentos requeridos por ambas partes.

## **O. DESATRAQUE**

Como en el apartado anterior 8.2.N. DESATRAQUE, los primeros cabos en largar son los largos, seguido los traveses y por último los esprines.

## **11. COMPATIBILIDAD DE LA TERMINAL Y EL BARCO**

Una buena compatibilidad se debe de comprobar desde el punto de vista técnico y personal del barco y de la terminal.

### **11.1 PARTICULARIDADES DEL BARCO Y LA TERMINAL**

El estudio de compatibilidad debe incluir:

- Plan general de capacidad y datos del barco y dela terminal.
- Cuestionario de particularidades del barco y de la terminal.

### **11.2 GENERALIDADES DE AMARRE**

Información sobre:

- Plan general de amarre.
- Plan de las defensas para el costado del buque en cuanto a calidad y diseño.
- Certificados de los cabos. Verificación de que cumplen con las posibles situaciones extremas de mar y viento.
- Asiento y estabilidad del buque dentro de los límites de la terminal. (Spouge, 1999)



### **11.3      MANIFOLD Y BRAZOS DE LA TERMINAL**

Las conexiones de la terminal y del barco deben de estar entre los límites de los calados máximos y mínimos del barco, teniendo en cuenta las condiciones de mareas más extremas.

### **11.4      ESCALA (GANGWAY) ENTRE TERMINAL Y BARCO**

La escala debe estar entre los límites del diseño del barco teniendo en cuenta los calados máximos y mínimos de éste. La configuración de la cubierta debe permitir la operatividad de la escala sin ninguna obstrucción.

### **11.5      CONEXIÓN ENTRE EL BARCO Y LA TERMINAL**

El barco debe permitir la conexión del sistema óptico o neumático de tierra, siendo de fácil unión.

## **12. COMUNICACIONES BARCO Y TERMINAL**

Las comunicaciones deben empezar antes del viaje del barco a la determinada terminal y finalizar cuando el barco está saliendo del puerto de ésta. Todas las comunicaciones se harán con un lenguaje común, el inglés.

Antes de fletar un barco, es necesario asegurarse por ambas partes de que existe equipo de trabajo entre el barco y la terminal.

Se envía y estudia toda la documentación citada en el apartado anterior, incluyendo la capacidad de los tanques de carga y las características de las bombas.

El capitán informará sobre la temperatura y la presión de los tanques de carga a la llegada, el personal que embarque o desembarque y las cantidades de repuesto de combustible que se tenga a bordo.

Durante las operaciones de atraque y de carga se deben de utilizar diferentes métodos de comunicación, así como teléfonos y UHF intrínsecamente seguros.

Se tendrá en el control de carga un ordenador con los cabos de amarre monitorizados para saber así la fuerza o presión que ejercen sobre los bolardos de la terminal, para así poder ajustarlos dependiendo de las condiciones del mar y el viento. (SIGTTO, 1997)

### **12.1      ANTES DE LA TRANSFERENCIA DE CARGA**

Antes de las operaciones, se realiza una reunión donde se acuerdan los procedimientos de todas las operaciones. El propósito primordial de esto es tener claro un plan de la operación y de la seguridad que conlleva.

El responsable de la terminal debe comprobar que las instrucciones de la llegada del barco se han cumplido, incluyendo las inspecciones y las pruebas de seguridad. Así mismo, los oficiales responsables de la seguridad a bordo deben asegurarse de que el equipo de la terminal es apropiado para el barco.

La responsabilidad de los acontecimientos producidos durante las operaciones de carga o descarga cuando el barco está atracado en la terminal es del Capitán, y los producidos en la terminal del Representante de la terminal.

Antes de cualquier operación, tanto el Capitán o el responsable del barco, como el representante de la terminal deben:

- Estar de acuerdo para escribir cualquier procedimiento, incluyendo el flujo (rate) máximo de carga o descarga.
- Estar de acuerdo en escribir cualquier procedimiento para las posibles situaciones de emergencia que se puedan producir durante las operaciones.
- Completar y firmar una lista de pruebas y comprobaciones, llamado Safety Check List.

## **SHIP SHORE SAFETY CHECK LIST**

- Existe un acceso seguro entre el barco y la terminal.
- El barco está amarrado de forma segura.
- El sistema de comunicaciones entre el barco y la terminal está operativo.
- Las mangueras y los equipos contraincendios del barco y de la terminal están preparados para su uso inmediato.
- Los brazos de conexión de la terminal y del barco, las líneas y los manifolds están en buen estado y servicio para su uso.
- El sistema de carga está aislado y drenado para permitir su uso con seguridad.
- Las conexiones y válvulas que no se usan están correctamente cerradas y aseguradas en el barco y en la terminal.
- Todos los tanques de carga y lastre están cerrados.
- Las puertas y portillos de la acomodación, almacenes y espacios de la máquina están cerradas. Los ventiladores de la máquina deben de permanecer abiertos.
- Los planos de emergencia del barco están es su lugar correctamente situados.
- La presión de los tanques es positiva y con un contenido en oxígeno menor del 5%.
- Hay eficiencia para la seguridad en cubierta y una adecuada supervisión del barco y de la terminal.
- Hay suficiente personal en cubierta y en tierra por si hubiera alguna emergencia o peligro.
- Los procedimientos de carga y de lastre han sido aprobadas por ambas partes.
- El sistema de apagado de emergencia (ESD) ha sido probado por ambas partes.

- Los datos de seguridad del material de carga (MSDS) han sido compartidos con la terminal y están en sitios visibles.
- Los peligros asociados con sustancias tóxicas se han identificado.
- Se usa una conexión internacional de mangueras.
- Se acuerdan parámetros para la línea de retorno de vapor.
- Las diferentes alarmas del nivel de los tanques han sido probadas.
- Se identifican las salas de fumar y los requisitos y prohibiciones.
- Los teléfonos de ambas partes y sus requerimientos se conocen.
- VHF, radares y AIS están apagados.
- Los UHF son intrínsecamente seguros.
- Se conocen las condiciones climáticas durante el tiempo de operaciones.
- Se conocen los protocolos de seguridad de la terminal y del barco.
- Se acuerda recibir nitrógeno de la terminal para drenar y purgar las líneas.
- Los analizadores de oxígeno han sido calibrados y trabajan bien.
- Están aprobados todos los certificados de manufacturación.
- El sistema rociador de agua está preparado para su uso inmediato.
- Hay suficientes equipos y trajes de protección criogénica para su uso
- Las barreras primarias y secundarias están bien inertizadas con nitrógeno.
- Las bombas y los compresores están en buen estado de funcionamiento.
- El control de quemado de gas está controlado.
- Se acuerda la presión y la temperatura durante las operaciones.
- Las válvulas de seguridad están correctamente calibradas para su uso. (OCIMF, 1998)

### **13. SITUACIONES DE PELIGRO**

#### **13.1 EQUIPO CONTRAINCENDIOS**

##### **A. POLVO SECO**

El sistema principal de polvo seco consiste en 4 unidades separadas por la cubierta de carga. Pueden ser activadas desde la estación de fuego, desde el Control de Carga o localmente.

Dos unidades están situados en mitad del barco, uno a babor y otro a estribor junto a los manifolds, conteniendo cada uno 1138,5 kg de polvo seco, 6 cilindros de nitrógeno de 6 kg cada uno, y un monitor simple para actuar alrededor de todo el manifold.

Las otras dos unidades están a proa del tanque número 1 y a babor del tanque número 4, conteniendo cada uno 693 kg de polvo seco, 4 cilindros de nitrógeno de 68 litros cada uno. 4 cajas de mangueras en el centro de la cubierta principal desde proa a popa.

Cada una de estas unidades tiene asociadas cuatro partes de la acomodación y de la máquina, incluyendo otra manguera de 33 metros, situadas con sus respectivas cajas en medio de la cubierta de proa a popa.

Una vez usados los sistemas debe de quedar todo limpio, especialmente las válvulas

##### **B. SISTEMA DE ESPUMA**

El sistema de espuma se encuentra junto con el sistema de CO<sub>2</sub>, en la cubierta exterior de la máquina. Lo que hace es sofocar el fuego y enfriarlo.

Este sistema se encuentra repartido por toda la máquina.

## **C. CO2**

El sistema central de CO2, situado en la cubierta exterior de la máquina en la sala de CO2 y espuma, consiste en 50 cilindros de 45 kg cada uno. Puede ser activado desde la estación de fuego o desde la sala de CO2.

Por todo el barco se sitúan cilindros de 6 kg

## **D. MANGUERAS Y SISTEMA ROCIADOR DE AGUA**

Hay mangueras repartidas por toda la acomodación, por toda la máquina y por toda la cubierta principal de líneas. Cada manguera tiene asociado un hidrante.

El sistema rociador de agua se encuentra repartido en varias secciones:

- Alrededor de la acomodación.
- En cada manifold.
- En la sala de compresores y motores eléctricos.
- En los domos de líquido y de vapor.
- En los botes de recate.

Su activación puede hacerse desde la sala de control de fuego, desde el control de carga, desde el puente de navegación, en ambas salidas de la cubierta principal y manualmente desde la sala del aire acondicionado donde se pueden aislar zonas y usarse sólo para una determinada zona.

## **13.2 DETECCIÓN DE FUGAS EN LAS MEMBRANAS**

Las fracturas por fatiga en la membrana primaria son generalmente pequeñas, por tanto solo pasarán vapor o líquido en cantidades suficientemente pequeñas, teniendo en cuenta que el líquido se evaporará cuando pase por la fractura. Sin embargo, es posible que se

produzca una mayor fractura en la membrana, permitiendo que el líquido pase y se acumule en la parte inferior del espacio de aislamiento primario.

### **A. FUGAS DE VAPOR**

La fuga de vapor de metano en el espacio de aislamiento primario no presenta peligro inmediato para el tanque o el barco. Pero debe obtenerse y registrarse toda la información posible sobre la fractura y la fuga.

Una pequeña fuga de vapor a través de la membrana puede no ser fácilmente detectada, sin embargo, se puede detectar cuando se nota un aumento en el porcentaje de vapor de metano en el espacio de aislamiento primario, sabiendo que la cantidad de este vapor se debe mantener al mínimo mediante la purga de nitrógeno.

La concentración de vapor en cada espacio de aislamiento primario se registra diariamente para detectar con rapidez cualquier cambio pequeño y constante. (LTD., 2006)

#### **- Un aumento de la presión en un espacio de aislamiento primario**

Una fractura por encima del nivel de líquido en un tanque de carga permitirá un flujo directo de vapor en el espacio de aislamiento primario, que variará según la presión en el tanque.

Una fractura por debajo del nivel de líquido en un tanque de carga, resultando en una pequeña cantidad de líquido que se vaporiza a medida que pasa a través de la fractura, causará un pequeño aumento en la presión, que depende de la altura del líquido del tanque que hay por encima de la fractura, y de la presión en el tanque.

#### **- Variación de temperatura**

Los cambios de temperatura son más difíciles de saber, a menos que la fractura se encuentre en las inmediaciones de los sensores que hay debajo del tanque de carga.

Para saber si la fuga aumenta de tamaño:

1. Después de detectar la fuga y sin cambiar el flujo de nitrógeno en el espacio de aislamiento primario, registrar la concentración de gas y las temperaturas del espacio primario cada hora durante ocho horas seguidas.
2. Si es necesario, ajustar el flujo de nitrógeno para mantener la concentración de gas por debajo del 30% en volumen y registrar la temperatura de aislamiento de la concentración de gas y del aislamiento primario cada cuatro horas.
3. Registrar todos los cambios de presión que ocurren en el tanque de carga y en el espacio de aislamiento primario.

## **B. FUGAS DE LÍQUIDOS**

Una fractura importante en la membrana primaria, permitiendo que el líquido ingrese al espacio de aislamiento primario, se detectará de la siguiente manera:

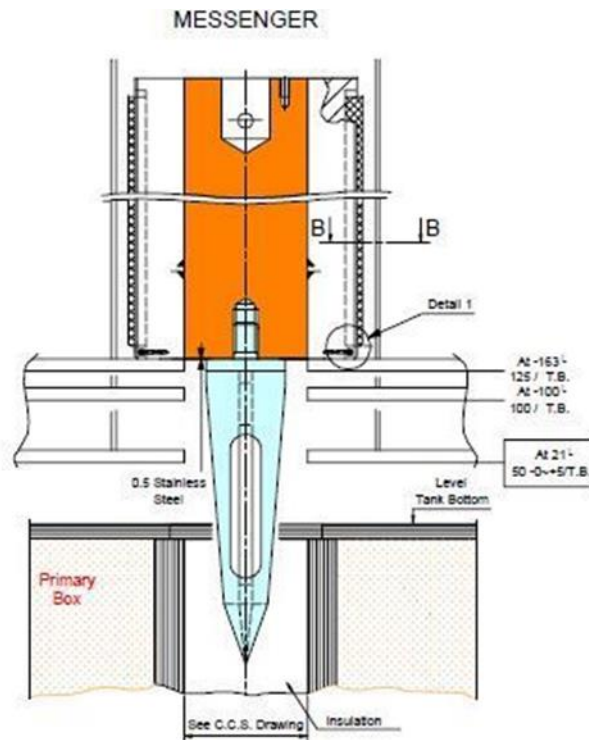
- Un rápido aumento en el contenido de metano del espacio afectado.
- Un aumento de la presión de nitrógeno en el espacio de aislamiento primario.
- Alarmas de baja temperatura en todos los sensores hay debajo del tanque de carga dañado.
- Una bajada general de las temperaturas internas del acero del casco.

Si ocurre esto, el líquido del tanque fluirá hacia el espacio de aislamiento primario hasta que los niveles en ambos compartimientos sean iguales. Cuando se descargue el contenido del tanque de carga, a menos que el GNL en el espacio de aislamiento primario pueda drenar lo suficientemente rápido al tanque, se acumulará una gran cantidad de líquido que tenderá a colapsar la membrana del tanque.

Antes de descargar un tanque en estas situaciones, es fundamental perforar la membrana para que el líquido pueda fluir libremente hacia el tanque desde el espacio de aislamiento primario. De esta manera se evitaría una acumulación de líquido en el espacio de aislamiento primario, lo que podría causar daños en el soporte de la membrana primaria.



El dispositivo de perforación es un mensajero de 30 kg que se deja caer por el tubo de la sonda de flotador que se encuentra en los domos de líquidos de la cubierta de carga, para así realizar un agujero en la membrana primaria.



*Ilustración 31. Esquema de mensajero. Fuente: Manual de Carga del buque Hispania Spirit.*

Al final de la base del tubo de la sonda se encuentra la membrana equipada con un diafragma delgado, y las cajas de aislamiento de madera contrachapada son más delgadas de lo normal para permitir que el mensajero penetre completamente.

## **PROCEDIMIENTO DE PERFORACIÓN DE LA BARRERA**

1. Enrollar el medidor de la sonda en la cabeza de la sonda de flotador y cerrar la válvula de compuerta.
2. Retirar la cabeza de la sonda de flotación.
3. Ajustar el mensajero al tubo de la sonda.
4. Girar la manija de retención del mensajero en sentido anti horario hasta que caiga el mensajero.
5. Cuando el mensajero toque la membrana, levantarlo un metro y dejarlo caer hasta que se note que atraviesa la membrana.

Una vez realizado esto, el tanque puede ser descargado de forma segura.

### **C. FUGAS DE AGUA DE LASTRE**

Las fugas de los tanques de lastre a los espacios de aislamiento pueden ocurrir a través de fracturas en el revestimiento interno del casco. Si la fuga no se detecta y el agua se acumula en estos espacios, se formará hielo. La acumulación de hielo puede causar la deformación y la posible rotura del aislamiento.

La diferencia de presión causada por la acumulación de agua en el espacio de aislamiento puede ser suficiente para deformar o incluso colapsar la membrana en el tanque de carga.

Para reducir el riesgo de daños por fugas, cada espacio de aislamiento de la carga ha sido provisto con unidades de detección de agua, un sistema de tuberías de sentina conectadas a dos bombas neumáticas para eliminar el agua.

## **DETECCIÓN DE FUGAS**

En la parte inferior de los cofferdams número 2, 3, 4 y 5 hay un pozo de sentina. Cada uno de estos pozos está equipado con cuatro detectores de agua, dos en funcionamiento y dos de repuesto.

Cada detector es del tipo de célula de conductividad, que origina un cambio en la resistencia debido a la presencia de humedad y activa una alarma. El pozo de sentina sirve como entrada para la tubería de suministro de nitrógeno de 150 mm al espacio de aislamiento, que también actúa como una tubería de sondeo manual para el pozo de sentina.

### **13.3 INCENDIOS EN OPERACIONES**

Todas las terminales tienen sus propios requisitos con respecto a cuándo no es seguro que un barco permanezca junto a una terminal.

En caso de que se produzca un incendio o una emergencia durante operaciones, ya sea a bordo o en tierra, se seguirán los siguientes procedimientos:

1. Todas las operaciones de carga se detendrán y las señales de emergencia sonarán de acuerdo con los requisitos de la terminal.
2. Se pondrán en funcionamiento los procedimientos de emergencia de buque y terminal.
3. El sistema ESD2 se activará, lo que provocará que los brazos de carga se desconecten del sistema.
4. En caso de incendio, se activará el sistema de rociado de agua el barco o en la terminal, y los grupos de bomberos intentarán lidiar con la situación.
5. El buque se preparará para la salida del muelle. Contando con el apoyo del personal de tierra los remolcadores.
6. Un remolcador de reserva ayudará con la lucha contra incendios y con el movimiento del barco desde el muelle.

7. La embarcación se moverá lejos del lugar de atraque hacia un área segura.

A parte, los fletadores y otras partes interesadas serán informados de la situación.

### **13.4      INSTALACIÓN DE BOMBA DE EMERGENCIA**

La bomba de emergencia se usa en el caso de que una o ambas bombas de carga principales hayan fallado en uno de los tanques de carga. La bomba se introduce en la columna de la bomba de emergencia. Para alimentar la bomba, se utilizan cables que se unen a la caja de conexiones de al lado de cada línea de emergencia.

La columna en la que se baja la bomba de emergencia debe ser evacuada de cualquier contenido de GNL. Se inyecta nitrógeno en la columna, que en el caso de un tanque de carga lleno, se requiere una presión de entre 200 y 300 kPa. El nitrógeno expulsa el GNL a través de una válvula ubicada en la parte inferior de la columna.

Se testea la columna para garantizar que está libre de GNL. La presión del tanque debe reducirse a justo por encima de la presión atmosférica antes de quitar la tapa superior de la columna.

A la hora de instalar los cables de alimentación en la bomba, hay que asegurarse de que los cables de alimentación están colocados en la cubierta y protegidos para evitar cualquier daño.

Con ayuda de una grúa se deja descender la bomba por la columna. Una vez posicionada, se colocan los cables y las guías de los rodillos en la placa de unión, asegurándose de que todo queda unido en perfecto orden y estado.

Se baja la placa de la columna y se cierra, teniendo mucho cuidado con la junta.

### **13.5      DESECHO DE CARGA. JETTYSONING**

Una brecha en la membrana de uno o más tanques de carga puede suponer el lanzamiento de la carga de ese tanque particular al mar. Esto se realiza utilizando una sola bomba de carga y descargando el GNL a través de una lanza portátil instalada en el manifold del barco.

El lanzamiento de la carga solo debe realizarse para evitar graves daños en el tanque de carga o en la estructura interna de acero del casco.

Puesto que el lanzamiento del GNL creará condiciones peligrosas:

- Todas las circunstancias de la brecha deben evaluarse cuidadosamente antes de tomar la decisión de desechar la carga.
- Todo el equipo de extinción de incendios debe ser manejado durante toda la operación.
- Todas las aperturas y los ventiladores de ventilación deben estar asegurados.
- NO FUMAR bajo ninguna circunstancia.
- La cortina de agua en el lado del lanzamiento debe estar funcionando para proteger la estructura del barco.

Deben tenerse en cuenta las condiciones climáticas y el rumbo del barco en relación con el viento para que el líquido desechado y la nube de vapor resultante se retiren del barco.

La velocidad de descarga debe limitarse a la capacidad de una sola bomba de carga y, si es necesario, reducirla para permitir una dispersión aceptable dentro de los límites de las condiciones climáticas.

### **13.6      CHAPOTEO. SLOSHING**

Durante las operaciones de carga, el GNL chapotea de un lado a otro en el tanque de carga debido a la naturaleza del estado líquido, del estado de la mar y el asiento. Los tanques del buque están diseñados para soportar estas fuerzas de balance sobre las paredes de los tanques.

Sin embargo, se deben de tomar unas precauciones para reducir al máximo cualquier riesgo:

- Mantener y controlar el nivel de los tanques entre el 10 y el 70% de la carga, puesto que es donde más riesgo de chapoteo hay.
- Intentar el mínimo balanceo del barco, puesto que el movimiento acelera este efecto.

Durante los viajes en carga, es importante controlar la presión de los tanques debido al chapoteo continuo del GNL, que hace que se vaporice.

### **13.7      SISTEMA ESD: SISTEMA DE CERRADO COMPLETO DE EMERGENCIA**

El sistema ESD ejecuta el cierre de bombas, válvulas y compresores del barco en una situación de emergencia. Tanto el barco como la terminal pueden paralizar el proceso de las operaciones si fuese necesario.

Los pulsadores para activación del sistema están en el puente, en el control de carga, en el control de la máquina, en cada uno de los domos de líquidos y en los dos manifolds. Las válvulas ESD están en diferentes zonas del barco.

La función principal del sistema es parar la carga líquida y el flujo de vapor cuando hay una emergencia, consiguiendo que todos los sistemas y operaciones estén seguros. (Wetherby, 2009)

El código IGC suministra la importancia y las particularidades del sistema. El código necesita unos activadores diseñados para proteger el barco y el sistema de carga ante

cualquier daño, de forma que paralice todas las operaciones y evitar el mayor daño posible.  
(Machado, 2009)

Los sistemas de conexión del sistema ESD se instalan de tal forma que al enviar una señal al barco desde la terminal y viceversa, el sistema funcione.

Se divide en dos etapas el sistema:

- ESD 1: Cierra de manera automática las válvulas, las bombas y los compresores del barco y de la terminal.
- ESD 2: Ocurre inmediatamente del ESD 1. Separa las conexiones de los brazos del manifold.

Antes de las operaciones, la terminal y el barco hacen 2 pruebas sobre este sistema.

- Una prueba antes del enfriamiento de las líneas, desde la terminal y después desde el barco.
- Otra prueba después del enfriamiento de líneas, desde la terminal y después desde el barco.

## **14. CONCLUSIONES**

A continuación se detallan las conclusiones:

1. Debido a la naturaleza de la materia transportada en este tipo de buques, las operaciones en las que se ven envueltos éstos requieren de una gran seguridad personal y técnica. El gas a temperaturas criogénicas es peligroso para las estructuras pudiendo originar deformaciones o fracturas importantes, y la posibilidad de que se caliente y pase a estado gaseoso requiere de unos sistemas de alivio de presión. Su contacto con el aire puede originar atmósferas explosivas. Todo esto conduce a posibilidad de incendios, por lo que el buque está equipado con grandes equipos de lucha contraincendios.
2. Los buques gaseros son muy complejos tanto durante las operaciones en puerto como en la mar. Requieren de una especialización única de materiales en su construcción para el mantenimiento y manejo de la carga. De la duplicación de sistemas y equipos, de la automatización de los mismos y de una tripulación altamente cualificada.
3. Así, este tipo de buques requiere tener una tripulación competente, no tan sólo con todos los certificados exigidos por la industria, sino con los suficientes conocimientos de termodinámica y comportamiento de gases, además de una profunda comprensión de los sistemas de contención y trasvase del buque. Navegar en este tipo de buques requiere de una amplia formación, experiencia y gran aptitud, así como el buen entendimiento del porqué de todo lo que surge a bordo para un buen funcionamiento.
4. Así, para mejorar este conocimiento, sería muy útil que todos los buques tuvieran una guía de familiarización, con sus procesos y procedimientos consecuentes, donde se facilite el conocimiento de los sistemas del buque y su funcionamiento a las nuevas tripulaciones.



## BIBLIOGRAFIAS

Beggs, H. D., 1985. *Gas production operations*. s.l.( Lugar de publicación no conocido) Pennwell Books, Tulsa, OK.

Erik Vanem, P. A. I. Ø. a. F. D. C. d. C., 2008. Analysing the risk of LNG carrier operations. *Reliability Engineering & System Safety*, 93(9), pp. 1328-1344.

ICS, 2018. *Tanker Safety Guide*. Third ed. London: ICS.

Ikoku, C. U., 1980. *Natural gas engineering: a systems approach*. s.l. ( Lugar de publicación no conocido) Penn Well Books, Tulsa, OK.

LTD., W. & C., 2006. *International Safety Guide for Oil Tanker and Terminals*. London: WITHERBY.

Machado, G. B., 2009. ESD in a DP Vessel-For Safety, not for Blackout. *Risk*, pp. 30-35.

OCIMF, 2018. *Mooring Equipment Guidelines*. 4 ed. s.l. ( Lugar de publicación no conocido) Witherby.

OCIMF, S., 1998. *Ship Information Questionnaire for Gas Carriers*. 2 ed. London: Witherby.

Operators, S. o. I. G. T. & T., 1997. *The Ship/shore interface : communications necessary for matching ship to berth*. 2nd ed. London: s.n.( Nombre de editor no conocido)

Paweł Głomski, R. M., 2011. Problems with determination of evaporation rate and properties of boil-off gas on board LNG carriers. *Journal of Polish CIMAC*, 6(1), pp. 133-140.

Pentatech CO., L., 2004. *Cargo Operating Manual*. s.l. ( Lugar de publicación no conocido) Daewoo Shipbuilding and Marine Engineering DSME.

Saeid Mokhatab, J. Y. M. J. V. V. a. D. A. W., 2013. *Handbook of liquefied natural gas*. s.l. ( Lugar de publicación no conocido) Gulf Professional Publishing.

Shigeki Sakakibara, M. K., 2007. Ship berthing and mooring monitoring system by pneumatic-type fenders. *Ocean Engineering*, 34(8-9), pp. 1174-1181.

Shipping, I. C. o., 2018. *Tanker Safety Guide*. London: ICS.

SIGTTO, 1997. *The Ship/shore interface : communications necessary for matching ship to berth*. 2ND ed. LONDON: s.n.( Nombre de editor no conocido)

Spouge, J., 1999. *A guide to quantitative risk assessment for offshore installations*. s.l. ( Lugar de publicación no conocido) CMPT Aberdeen, SD.

Witerby, 2009. *ESD Arrangements & Linked Ship/Shore Systems for Liquefied Gas Tankers*. Edinburgh: Witerby.

## **ANEXO II: Aviso responsabilidad UC**

### **AVISO:**

Este documento es el resultado del Trabajo Fin de Grado de un alumno, siendo su autor responsable de su contenido.

Se trata por tanto de un trabajo académico que puede contener errores detectados por el tribunal y que pueden no haber sido corregidos por el autor en la presente edición.

Debido a dicha orientación académica no debe hacerse un uso profesional de su contenido.

Este tipo de trabajos, junto con su defensa, pueden haber obtenido una nota que oscila entre 5 y 10 puntos, por lo que la calidad y el número de errores que puedan contener difieren en gran medida entre unos trabajos y otros,

La Universidad de Cantabria, la Escuela Técnica Superior de Náutica, los miembros del Tribunal de Trabajos Fin de Grado así como el profesor tutor/director no son responsables del contenido último de este Trabajo.”